



UNIVERSIDAD TÉCNICA PARTICULAR DE LOJA
La Universidad Católica de Loja

ÁREA TÉCNICA

TITULACIÓN DE INGENIERO CIVIL

“Construcción de un mapa de vulnerabilidad sísmica de la ciudad de Loja”

TRABAJO DE FIN DE TITULACIÓN.

AUTOR: Cuenca Salinas, Daniela Alejandra

DIRECTORES: Ayala Mendoza, Adriana del Carmen, Ing.

LOJA – ECUADOR
2013

APROBACIÓN DEL DIRECTOR DEL TRABAJO DE TITULACIÓN

Ingeniera

Adriana Ayala Mendoza

DIRECTORA DEL TRABAJO DE FIN DE TITULACIÓN

CERTIFICA:

Que el presente trabajo, denominado “**Construcción de un mapa de vulnerabilidad sísmica de la ciudad de Loja**” realizado por la profesional en formación: Cuenca Salinas Daniela Alejandra; cumple con los requisitos establecidos en las normas generales para la Graduación en la Universidad Técnica Particular de Loja, tanto en el aspecto de forma como de contenido, por lo cual me permito autorizar su presentación para los fines pertinentes.

Loja, Octubre de 2013

Ing. Adriana del Carmen AyalaMendoza

DIRECTORA DE TRABAJO DE FIN DE TITULACIÓN

DECLARACIÓN DE AUTORÍA Y CESION DE DERECHOS

Yo, Cuenca Salinas Daniela Alejandra, declaro ser la autora del presente trabajo y eximo expresamente a la Universidad Técnica Particular de Loja y a sus representantes legales de posibles reclamos o acciones legales.

Adicionalmente declaro conocer y aceptar la disposición del Art. 67 del estatuto Orgánico de la Universidad Técnica Particular de Loja que su parte pertinente textual dice: “Forman parte del patrimonio de la universidad la propiedad intelectual de investigaciones, trabajos científicos o técnicos y tesis de grado que se realizan a través o con el grupo financiero, académico o institucional (operativo) de la universidad”

.....
Daniela Alejandra Cuenca Salinas

1104340557

DEDICATORIA

A mis padres, Yolita y Daniel, por ser mi ejemplo de vida, con su esfuerzo, dedicación y amor a su profesión me han enseñado a luchar por conseguir lo propuesto.

A mi esposo y amigo, Pablo, por brindarme su amor, comprensión y apoyo incondicional y darme ánimo en los momentos que decayera.

A mi hija, Danna Sofía, porque gracias a ella he podido culminar con el presente proyecto de tesis, por su paciencia y por la admiración que siente hacia su mami.

Daniela Alejandra Cuenca Salinas

AGRADECIMIENTO

La presente tesis es el resultado del esfuerzo conjunto de varias personas las cuales con su opinión, apoyo incondicional y ánimo me han acompañado durante todo el periodo de su ejecución.

A los docentes de la Titulación de Ingeniería Civil a quienes les debo gran parte de mis conocimientos, gracias a sus enseñanzas.

A la Universidad Técnica Particular de Loja, la cual abrió las puertas de su institución, preparándonos para un futuro competitivo y formándonos como personas de bien.

Agradezco de manera muy especial a la Ing. Adriana Ayala Mendoza Directora de Tesis, por haber confiado en mi persona, por la paciencia y por la dirección de este trabajo.

Daniela Cuenca

INDICE

CERTIFICACIÓN.....	I
DECLARACIÓN DE AUTORÍA Y CESIÓN DE DERECHOS.....	II
DEDICATORIA.....	III
AGRADECIMIENTO.....	IV
ÍNDICE DE CONTENIDOS.....	V
ÍNDICE DE ILUSTRACIONES.....	VIII
ÍNDICE DE TABLAS.....	X
RESUMEN EJECUTIVO.....	XI;ERROR! MARCADOR NO DEFINIDO.
ABSTRACT.....	XII
INTRODUCCION.....	1
OBJETIVOS.....	1
JUSTIFICACIÓN.....	2
METODOLOGÍA.....	2
CAPITULO I: MARCO TEÓRICO.....	4
1. SISMO.....	5
1.1. LOCALIZACIÓN.....	5
1.2. MAGNITUD DE UN SISMO.....	5
1.3. INTENSIDAD DE UN SISMO.....	6
1.3.1. ESCALA DE INTENSIDADES DE MERCALLI.....	7
1.4. SISMOS EN EL ECUADOR (LOJA).....	9
1.5. RIESGO SÍSMICO.....	13
1.5.1. PELIGROSIDAD SÍSMICA.....	13
1.5.2. EXPOSICIÓN.....	13

1.6.	VULNERABILIDAD SÍSMICA	13
1.6.1.	HERRAMIENTAS PARA CUANTIFICAR LA VULNERABILIDAD	14
1.7.	CURVAS DE FRAGILIDAD	15
1.8.	MÉTODOS PARA LA OBTENCIÓN DE CURVAS DE VULNERABILIDAD.....	15
1.8.1.	MÉTODO DE CLOUD	16
1.8.2.	MÉTODO MSA	16
1.8.3.	INCREMENTAL DYNAMIC ANALYSIS (IDA)	17
1.8.4.	DISPLACEMENT BASED EARTHQUAKE LOSS ASSESSMENT (DBELA) .	18
1.9.	MULTIPLE STRIPE ANALYSIS.....	18
1.10.	EDIFICIOS ESENCIALES	20
1.11.	MATERIALES Y SISTEMA ESTRUCTURAL.....	21
1.11.1.	ADOBE.....	21
1.11.2.	MAMPOSTERÍA	22
1.11.3.	CONCRETO.....	22
1.11.4.	CONCRETO REFORZADO.....	23
1.11.5.	ACERO.....	24
1.11.6.	SISTEMA ESTRUCTURAL.....	24
CAPITULO II:CRITERIO DE ANÁLISIS		26
2.1.	DAÑO SÍSMICO	¡Error! Marcador no definido.26
2.1.1.	REPRESENTACIÓN DEL DAÑO	26
2.1.2.	ÍNDICES O INDICADORES DE DAÑO.....	26
2.2.	COMPORTAMIENTO SÍSMICO DE LOS EDIFICIOS.....	28
2.2.1.	BINOMIO CAPACIDAD DEMANDA.....	28
2.2.1.1.	.CAPACIDAD ESTRUCTURAL.....	28
2.2.1.2.	.DEMANDA SÍSMICA	30
2.2.1.3.	.PUNTO DE DESEMPEÑO.....	30

CAPITULO III: TIPOLOGÍAS	32
3.1. CONSTRUCCIÓN DE LOS MODELOS.....	39
3.2. PROPIEDADES DE LOS MATERIALES	43
3.3. DIMENSIONES DE LAS SECCIONES TIPO.....	44
CAPITULO IV: FRAGILIDAD	45
4.1. SELECCIÓN DE SISMO	46
4.2. ELECCIÓN DEL MODELO	50
4.3. ESCALAR EL SISMO	51
4.4. APLICAR SISMOS AL MODELO.....	51
4.5. MÁXIMAS DERIVAS	51
4.6. NIVELES DE DAÑO	53
4.7. CURVAS DE FRAGILIDAD	53
4.8. RESULTADOS	59
CAPITULO V: CONCLUSIONES, RECOMENDACIONES Y BIBLIOGRAFÍA	64
CONCLUSIONES.....	65
RECOMENDACIONES.....	66
BIBLIOGRAFÍA.....	67
ANEXOS	70

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

Figura 1. Mapa con las ubicaciones de los sismos registrados durante el año 2011 (Segovia, 2012)	12
Figura 2. Ejemplo de curvas de fragilidad (Velásquez y Blondet, 2009)	15
Figura 3. La "nube" de respuesta de la estructura sometida a un conjunto de registros de sismos (trazada en la escala logarítmica). (Jalayer, 2003).	16
Figura 4. Ejemplo de análisis de banda múltiple en escala logarítmica. (Jalayer, 2003).....	¡Error!
Marcador no definido.	
Figura 5. Ejemplo de curvas IDA con comportamiento agresivo (Jalayer, 2003)	¡Error!
Marcador no definido.	
Figura 6. Ejemplo de análisis de banda múltiple. (Jalayer, 2003).....	19
Figura 7. Metodología para la simulación de curvas de fragilidad (Adaptado de Velásquez, 2003).....	20
Figura 8. Secuencia del proceso de análisis pushover. (Arango, Paz y Duque, 2009).....	¡Error!
Marcador no definido.	
Figura 9. Definición del espectro elástico de respuesta (González y Bairán, 2010).....	30
Figura 10. Representación del concepto de la deriva entre piso (Bonett, 2003).....	31
Figura 11. Ejemplo de clasificación tipo A, edificio Jefatura del Área de Salud No.2 "Hugo Guillermo González"	35
Figura 12. Ejemplo de clasificación tipo B, Cuerpo de Bomberos Centro.....	36
Figura 13. Ejemplo de clasificación tipo C, Hospital de Seguro Social.	37
Figura 14. Modelo tipo A2	40
Figura 15. Modelo tipo B1.	41
Figura 16. Modelo tipo C3.	42
Figura 17. Árbol lógico para cada tipología y límite de fluencia del acero. EDIFICIO1	43
Figura 18. Ecuador, zonas sísmicas para propósitos de diseño y valor de factor de zona Z. (Norma Ecuatoriana de la Construcción NEC, 2011).	47
Figura 19. Acelerogramas correspondientes a los registros de eventos sísmico.....	49
Figura 20. Espectros de respuesta de los 20 registros de eventos sísmicos.	50
Figura 21. Derivas máximas del Edificio1 Viga 50x30 Columna 25x25.	52

Figura 22. Curvas de fragilidad del Edificio 1 Viga 50x30 Columna 25x30 para la fluencia de 420 MPa y 280 MPa.	54
Figura 23. Mapa de Peligro Sísmico para Loja a nivel de suelo (Castillo, 2013).....	55
Figura 24. Mapa de ubicación de edificios esenciales de la ciudad de Loja	60
Figura 25. Mapa de ubicación de edificios esenciales de la ciudad de Loja	61
Figura 26. Mapa de vulnerabilidad sísmica de la ciudad de Loja para valores de PGA correspondientes a las edificaciones	62
Figura 27. Mapa de vulnerabilidad sísmica de la ciudad de Loja para $PGA = 0.25g$	63

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. <i>Tabla de efectos típicos de los sismos de diversas magnitudes, cerca del epicentro.</i>	6
Tabla 2. <i>Catálogo de Terremotos del Ecuador 1541 – 2008: Intensidades</i>	9
Tabla 3. <i>Informe de estados de edificios esenciales de la ciudad de Loja</i>	34
Tabla 4. <i>Definición de las tipologías</i>	35
Tabla 5. <i>Participación de los edificios tipo A</i>	38
Tabla 6. <i>Participación de los edificios tipo B</i>	38
Tabla 7. <i>Participación de los edificios tipo C</i>	38
Tabla 8. <i>Dimensiones de las secciones utilizadas para los modelos tipo a partir de árbol lógico</i>	¡Error! Marcador no definido.
Tabla 9. <i>Eventos correspondientes a registros seleccionados.</i>	48
Tabla 10. <i>Coordenadas GWS 84 para determinar el valor PGA de los edificios</i> ¡Error! Marcador no definido.	
Tabla 11. <i>Cuadro de probabilidad de daño de las edificaciones esenciales</i>	58
Tabla 12. <i>Resultados de vulnerabilidad sísmica de la ciudad de Loja.</i>	65

RESUMEN EJECUTIVO

El objetivo principal del proyecto es determinar la vulnerabilidad sísmica de edificaciones esenciales de la ciudad de Loja, se busca construir un mapa que localice sectores más vulnerables a sufrir daño por sismo para una intensidad determinada; en función de edificación que caracteriza la zona en que se emplaza.

La geometría de edificaciones se determina a través de observación de campo, se recoge información como: naturaleza de materiales, dimensiones de elementos, alturas entrepiso, uso de edificación y propiedades de materiales. La información recolectada se la categoriza en función del número pisos, propiedades de materiales y demás variables, cuya variabilidad se considera a través de construcción de un árbol lógico.

La capacidad del edificio se determina a partir de un análisis no lineal de historia en el tiempo considerando acelerogramas de sismos reales cuidadosamente seleccionados en función de variables que determinan el comportamiento sísmico del emplazamiento de los edificios considerados, como: velocidad de onda de corte a 30 metros, magnitud del sismo y la aceleración pico del suelo de la zona en análisis.

Palabras clave: Vulnerabilidad sísmica, edificios esenciales, aceleración del suelo.

ABSTRACT

The objective of the project is to determine the seismic vulnerability of the essential buildings in Loja City. It is seeking to build a digital map that allows to locate the most vulnerable to earthquake damage for a given intensity (peak ground acceleration "PGA"), its depending on the area to which it belongs.

The geometry of the building is determined by observation, where it collects information as : the nature of the materials, dimensions of the elements , heights between floors, construction and use of material properties. The information collected is necessary to categorization based on the number of floors, material properties and other variables, whose variability is considered by building a logical tree.

The capacity of the building is determined from a nonlinear analysis of time history real earthquake accelerograms considering carefully selected based on several variables that determine the seismic behavior in location of each of the buildings considered in this study such as: speed of shear wave at 30 meters (V_{s30}), earthquake magnitude and peak ground acceleration (PGA) of the area being analyzed.

Keywords: Seismic vulnerability, essential buildings, ground acceleration.

INTRODUCCION

La ciudad de Loja se localiza en una zona de alta peligrosidad sísmica puesto que Ecuador está ubicado en el denominado cinturón de fuego del Océano Pacífico, situación que aumenta los valores de peligrosidad sísmica, tal cual como lo confirman los registros del Instituto Geofísico de la Escuela Politécnica Nacional. El proceso de construcción urbana es continuo, por lo que surge la necesidad de contar con información sobre valores de vulnerabilidad que permita conocer las tendencias constructivas de la zona reflejadas como vulnerabilidad estructural.

Los últimos desastres ocurridos en países vecinos como Perú que sufrió un sismo de 7,2 grados en la escala de Richter en el 2005 destruyendo numerosas viviendas (Mora, 2003) y Chile en el 2010 sufrió un sismo de 8,8 grados que dejó daños en viviendas (BBC Mundo, 2011), han dejado evidencia del mal funcionamiento de las estructuras bajo la acción de cargas sísmicas, ante esto surge la necesidad de intervenir en las estructuras que han sido diseñadas bajo criterios de normativas con diseño sísmico o sin él; para evaluar el desempeño de las mismas. La información de los edificios esenciales permite a los profesionales del Ecuador conocer el estado actual del lote de edificios existente y proporciona de argumentos para el diseño de nuevos edificios que aseguren niveles de daño esperados en función del uso.

La metodología utilizada en el análisis de la vulnerabilidad presentado en el presente estudio se fundamenta en el método llamado MSA (MultipleStripeAnalysis), cuya filosofía busca someter a una clase de edificaciones a múltiples sismos de diferentes magnitudes, duraciones y contenidos de frecuencia, asegurando que se logre la mayor comprensión posible de su comportamiento estructural bajo la acción sísmica esperada en el sitio en el periodo de análisis en consideración de la normativa vigente.

En este proyecto ha delimitado como universo de análisis aquellos edificios denominados esenciales debidos principalmente a su importancia dentro de la comunidad y al rol que ocuparían en caso de evento sísmico.

OBJETIVOS

GENERAL

- Determinar la vulnerabilidad sísmica de las edificaciones esenciales de la Ciudad de Loja.

ESPECÍFICOS

- Identificar las edificaciones motivo de estudio (edificios esenciales).
- Seleccionar aquellos edificios que serán parte del presente análisis.
- Clasificar los edificios por clases.
- Simular aleatoriamente edificaciones dentro de cada clase considerada.
- Determinar las curvas de vulnerabilidad por cada clase de edificio.
- Correlación entre curvas de vulnerabilidad por clase y las edificaciones en estudio.
- Crear un mapa de vulnerabilidad de la ciudad de Loja.
- Identificar las zonas que presenten mayor vulnerabilidad en la ciudad de Loja.

JUSTIFICACIÓN

El estudio pretende ser una fuente de información para diseñadores estructurales, para planificadores territoriales y para profesionales en formación que estudien temas relacionados con el presente proyecto. El estudio de vulnerabilidad permite conocer el estado de los edificios y prever el daño bajo eventos de ciertas magnitudes; la presente investigación hace énfasis en las edificaciones esenciales; las mismas que dado un evento sísmico deben permanecer funcionales; tales edificaciones son hospitales, centros educativos, edificios gubernamentales, edificios de organizaciones de socorro como cruz roja, defensa civil, etc.

Este tipo de información es esencial cuando va enfocada a la preparación de la ciudad ante un inminente evento sísmico, asegurando que los edificios esenciales se comporten cómo se requiere en cada caso, además de identificar aquellos que tienen deficiencias en

su comportamiento, para que puedan ser sometidos a un proceso de recuperación y/o reforzamiento con miras a que su comportamiento siempre sea el deseado.

METODOLOGÍA

La metodología para la evaluación de la vulnerabilidad se ha planteado en las siguientes fases:

- Recopilación de información de la historicidad sísmica de la ciudad de Loja, así como también de bibliografía necesaria para la justificación del estudio.
- Elaboración de un registro de edificaciones esenciales: número de niveles, tipo de construcción (mampostería, adobe, etc.), uso de la vivienda, sistema estructural (con diseño sismorresistente o sin él), etc.
- Clasificación de las edificaciones según tipología.
- Simulación aleatoria de edificaciones usando el software OpenSees para realizar el análisis no lineal de historia en el tiempo.
- Análisis de las estructuras simuladas aplicando el método MSA (MultipleStripeAnalysis) para obtener las curvas de fragilidad.
- Evaluación del daño de cada una de las edificaciones consideradas.
- Construcción de las curvas para cada una de las categorías consideradas.
- Construcción del mapa de vulnerabilidad sísmica para la ciudad de Loja.

En los capítulos posteriores se describe un informe más detallado de cada uno de los pasos mencionados.

CAPITULO I

MARCO TEÓRICO

CAPITULO I

1. SISMO

Los sismos se originan debido a la liberación de energía acumulada que se produce cuando los materiales del interior de la Tierra se desplazan en todas direcciones. La energía liberada se desplaza a través de la tierra en forma de ondas, a partir de la inestabilidad que es producida mediante el movimiento relativo entre placas tectónicas como consecuencia de actividades volcánicas, movimientos de ladera, hundimiento de cavernas, variaciones bruscas en la presión atmosférica por ciclones e incluso la actividad humana. (Russell, 2010)

1.1 Localización

Los sismos se suelen producir en zonas donde la concentración de fuerzas generadas por los límites de las placas tectónicas da lugar a movimientos de reajuste en el interior y en la superficie de la Tierra, por tal motivo se originan las fallas geológicas. Suelen producirse al final de un ciclo denominado ciclo sísmico, que es el período de tiempo durante el cual se acumula deformación en el interior de la Tierra produciendo el sismo. (Real Academia Española, 2009)

1.2 Magnitud de un sismo

La magnitud de un sismo se relaciona a la energía liberada por la rotura o el desplazamiento de rocas en el interior terrestre. Se mide mediante la escala de Richter, tabla 1; es una escala objetiva porque se basa en los datos extraídos del registro de sismógrafos. (CEPA-COSLADA, 2003)

Tabla 1. Tabla de efectos típicos de los sismos de diversas magnitudes, cerca del epicentro.

Magnitud	Descripción	Efectos de un sismo
Menos de 2,0	Micro	Los microsismos no son perceptibles.
2,0-2,9	Menor	Generalmente no son perceptibles.
3,0-3,9		Perceptibles a menudo, pero rara vez provocan daños.
4,0-4,9	Ligero	Movimiento de objetos en las habitaciones que genera ruido. Sismo significativo pero con daño poco probable.
5,0-5,9	Moderado	Puede causar daños mayores en edificaciones débiles o mal construidas. En edificaciones bien diseñadas los daños son leves.
6,0-6,9	Fuerte	Pueden llegar a destruir áreas pobladas, en hasta unos 160 kilómetros a la redonda.
7,0-7,9	Mayor	Puede causar serios daños en extensas zonas.
8,0-8,9	Gran	Puede causar graves daños en zonas de varios cientos de kilómetros.
9,0-9,9		Devastadores en zonas de varios miles de kilómetros.

Fuente. USGS: FAQ-Measuring Earthquakes, 2013

1.3 Intensidad de un sismo

La intensidad sísmica mide cualitativamente los efectos de un terremoto y delimita las áreas con efectos similares. La intensidad se mide por el grado de daños a las construcciones realizadas por el hombre, la cantidad de perturbaciones en la superficie del suelo y el alcance de la reacción animal en la sacudida. La valoración de la intensidad sísmica es mediante una escala descriptiva, no depende de la medida del movimiento del suelo con instrumentos, sino que depende de las observaciones reales de los efectos en la zona macrosísmica. Esta escala que comprende 12 valores, fue construida en 1902 por el sismólogo y vulcanólogo italiano Mercalli, llamada escala de intensidad Mercalli modificada abreviada. (Centro de Sismología, 2012)

1.3.1 Escala de Intensidades de Mercalli (Centro de Sismología, 2012)

I. No es sentido. Sólo lo registran los sismógrafos.

II. Es sentido por personas que se hallan en reposo, en edificios altos o en lugares que favorecen la percepción.

III. Es sentido en el interior de las habitaciones. Los objetos colgantes se balancean. La vibración es parecida al paso de un camión ligero. Es posible estimar su duración. Puede no ser considerado como un sismo.

IV. Los objetos colgantes se balancean. Vibración, semejante al paso de camiones pesados, o se percibe una sensación como si una pelota pesada golpeará las paredes. Los carros estacionados se mecen. Las ventanas, los platos y las puertas traquetean. Los vasos tintinean. Los cacharros chocan. En el rango superior de IV las paredes y armazones de madera rechinan.

V. Es sentido fuera de las casas; puede estimarse su dirección. Las personas dormidas despiertan. Los líquidos experimentan alteraciones; algunos se derraman. Los objetos inestables y pequeños se mueven, así como las celosías y los cuadros. Los relojes de péndulo se detienen, echan a andar o cambian de velocidad.

VI. Es sentido por todos. Muchas personas se asustan y salen corriendo de sus casas. Se dificulta caminar. Las ventanas, platos y objetos de vidrio se rompen. Adornos, libros, etc., caen de los estantes. Los cuadros se desprenden de las paredes. El mobiliario se mueve o cae. Se agrieta el yeso débil. Suenan las campanas pequeñas (iglesias, escuela). Los árboles y los arbustos se sacuden (visiblemente) o se escucha la agitación de sus ramas y hojas.

VII. Es difícil permanecer de pie. Los automovilistas sienten cómo se agita el piso. Los objetos colgantes vibran. Se rompen los muebles. Daños a construcciones incluyendo grietas. Las chimeneas débiles se parten al nivel del techo. Se produce caída de yeso, de ladrillos sueltos, de piedras, de tejas, de cornisas, de parapetos sin apoyo y de

ornamentos arquitectónicos. Se observan olas en los estanques; el agua se enturbia con lodo. Hay derrumbes y aludes en los bancos de arena o grava. Tañen las campanas grandes. Los canales de irrigación quedan dañados.

VIII. Se dificulta conducir un vehículo y quizá hasta se pierde el control del auto. Daños a las construcciones; colapso parcial. Caída de estuco y de algunas paredes de ladrillo. Torcedura y caída de chimeneas (casas y fábricas), monumentos, torres, tanques elevados. Las casas de armazón son movidas de sus cimientos si no están aseguradas a ellos. Se rompen las ramas de los árboles. Cambios en el flujo o la temperatura de manantiales y pozos. Grietas en terreno húmedo y en pendientes empinadas.

IX. Pánico general. Las construcciones son destruidas. Averías generales a los cimientos, y muy serias a las cisternas y presas. Las tuberías subterráneas quedan rotas. Grietas conspicuas en el terreno. En las zonas aluviales, la arena y el lodo son arrojados a las orillas, surgen las llamadas fuentes de terremoto y se abren cráteres de arena.

X. La mayor parte de las construcciones de mampostería y de armazón, así como sus cimientos son destruidos. Algunas estructuras y puentes, cuidadosamente construidos caen. Hay daños serios en presas, diques y terraplenes. Se producen grandes aludes. El agua es arrojada a la orilla de canales, ríos, lagos, etc. La arena y el lodo son desplazados horizontalmente en playas y terrenos planos. Los rieles de las vías de ferrocarril se doblan levemente.

XI. Los rieles quedan doblados considerablemente, y las tuberías subterráneas completamente fuera de servicio.

XII. La destrucción es casi total. Grandes masas de roca son desplazadas. Las líneas de nivel quedan distorsionadas. Los objetos son arrojados al aire.

1.4 Sismos en el Ecuador (Loja)

En la provincia de Loja sólo ha ocurrido dos sismos destructores de intensidad VIII en la escala de Mercalli como muestra en la tabla 2, estos son en el año 1749 y 1970. Se conoce que el evento de 1749 destruyó Loja, pero no se tiene noticias de otras poblaciones de su jurisdicción, debido a que la zona se encontraba escasamente poblada.

Los siete sismos menores que han repercutido en la provincia de Loja, igualmente han sido producto de eventos de fuera de su territorio. (Egred, 2009)

Tabla 2. Catálogo de Terremotos del Ecuador 1541 – 2008: Intensidades

Orden cronológico de terremotos		
Fecha	Localidad	Intensidad
1749 01 20	Loja	VIII
1904 05 04	Loja	7
1913 02 23	Gonzanamá	8
1913 02 23	Loja	6
1913 02 23	San Pedro	8
1928 05 14	Loja	7
1928 07 18	Loja	6
1942 05 14	Loja	6
1946 03 29	Saraguro	6
1953 12 12	Alamor	8
1953 12 12	Celica	7
1953 12 12	Gonzanamá	8
1953 12 12	Lauro Guerrero	7
1953 12 12	Loja	6
1953 12 12	Malacatos	8
1953 12 12	Purunuma	8
1953 12 12	Quilanga	7
1953 12 12	San Pablo	8
1953 12 12	San Pedro de la Bendita	7
1953 12 12	Saraguro	7
1953 12 12	Vicentino	8
1956 03 22	Cariamanga	6

Orden cronológico de terremotos		
Fecha	Localidad	Intensidad
1956 03 22	Loja	6
1970 12 10	Alamor	8
1970 12 10	Amaluza	8
1970 12 10	Bellavista	7
1970 12 10	Cariamanga	8
1970 12 10	Catacocha	7
1970 12 10	Catamayo (La Toma)	8
1970 12 10	Celica	8
1970 12 10	Changaimina	8
1970 12 10	Chile	8
1970 12 10	Chuquiribamba	8
1970 12 10	El Limo	8
1970 12 10	Gonzanamá	8
1970 12 10	Guizmaguina	8
1970 12 10	Lauro Guerrero	8
1970 12 10	Loja	8
1970 12 10	Macara	8
1970 12 10	Malacatos	8
1970 12 10	Mercadillo	8
1970 12 10	Paquil	8
1970 12 10	Posango	8
1970 12 10	Progreso	8
1970 12 10	Purunuma	7
1970 12 10	Quilanga	8
1970 12 10	Sabanilla	8
1970 12 10	Santa Teresita	8
1970 12 10	Saraguro	8
1970 12 10	Sozoranga	8
1970 12 10	Tacamoros	8
1970 12 10	Taquil	7
1970 12 10	Vilcabamba	6
1970 12 10	Yangana	8
1970 12 10	Zapotillo	8

Orden cronológico de terremotos		
Fecha	Localidad	Intensidad
1971 07 27	Alamor	6
1971 07 27	Cariamanga	6
1971 07 27	Celica	6
1971 07 27	Loja	6
1971 07 27	Macara	6
1971 07 27	Sozoranga	6
1983 04 12	Catamayo	6
1983 04 12	Changaimina	6
1983 04 12	Gonzanamá	6
1983 04 12	Malacatos	6
1983 04 12	Saraguro	6
1983 04 12	Vilcabamba	6
2007 11 16	Catarama	6

Fuente: Escuela Politécnica Nacional – Instituto Geofísico, Egred2009

La Figura 1 indica la actividad sísmica del Ecuador durante el año 2011. En la provincia de Loja durante el año de la publicación del mapa, se muestra un solo evento sísmico.

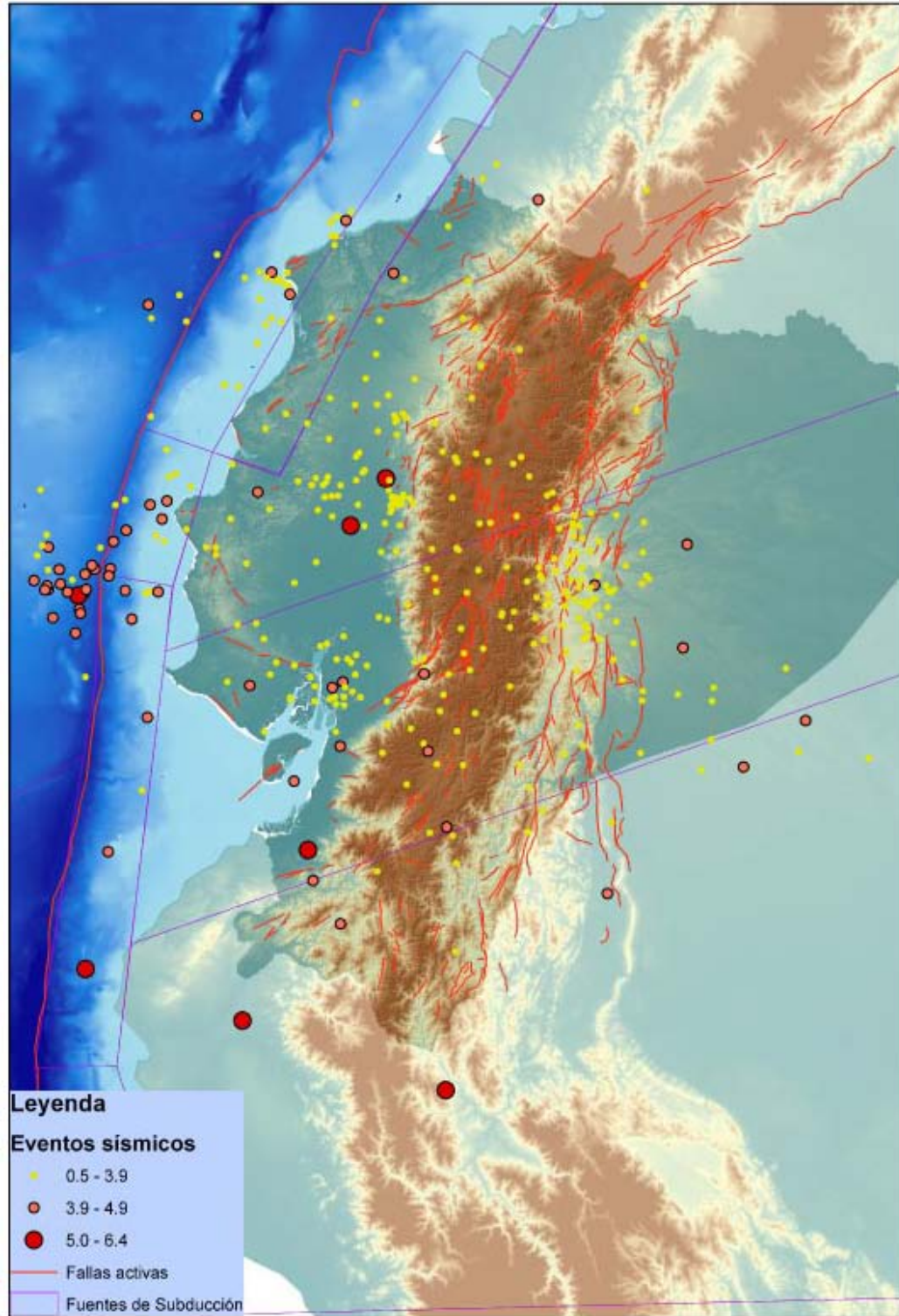


Figura 1. Mapa con las ubicaciones de los sismos registrados durante el año 2011 (Segovia, 2012)

1.5 Riesgo sísmico

Es la probabilidad de que se produzcan daños debido a movimientos sísmicos en una zona en un plazo determinado. (Lantada, 2007)

El riesgo sísmico tiene tres componentes que determinan su valor de probabilidad:

- Peligrosidad sísmica
- Vulnerabilidad sísmica
- Exposición

1.5.1 Peligrosidad sísmica

Es la probabilidad de que el valor de un cierto parámetro que mide el movimiento del suelo (intensidad; aceleración) sea superado en un determinado periodo de tiempo, también llamado periodo de exposición. (Universidad de Alicante, 2011)

1.5.2 Exposición

Es la valoración de pérdidas humanas producidas por la ocurrencia de un terremoto, teniendo en cuenta la vulnerabilidad de las edificaciones e infraestructuras. (Universidad de Alicante, 2011)

1.6 Vulnerabilidad sísmica

Vulnerabilidad sísmica es la predisposición intrínseca a sufrir daño ante una eventualidad sísmica asociada con las características físicas y estructurales de diseño. (BARBAT, 1998). Su concepto es inevitable para estudios sobre riesgo sísmico; que es el grado de pérdidas que sufren las edificaciones durante cierto intervalo de tiempo (periodo de exposición o periodo de vida útil). La presente investigación por lo tanto se ocupa del análisis de la vulnerabilidad sísmica únicamente, debido principalmente a que Loja no cuenta con estudios formales que estimen valores de peligrosidad sísmica.

El primer paso de un estudio de vulnerabilidad es definir su naturaleza y alcance, condicionados por factores como: tipo de daño a evaluarse, nivel de amenaza en la zona,

información disponible sobre las estructuras y datos relacionados con daños en las zonas de estudio. Definidos estos factores, con una adecuada acción sísmica y capacidad de la estructura, es posible evaluar la vulnerabilidad.

Una vez conocido el comportamiento de varios tipos de estructuras, se expone a diferentes intensidades de excitación del suelo y se utiliza la información para una predicción o proyección de los daños que pueden ocurrir durante el sismo.

Por tal motivo las funciones de vulnerabilidad derivadas para la estimación de pérdidas específicas de los elementos pueden utilizarse como información básica para la evaluación de la vulnerabilidad y posteriormente para la determinación de riesgo sísmico. Factores que influyen en la variación de vulnerabilidad sísmica son: factores geológicos, factores estructurales, factores arquitectónicos, factores constructivos y factores socio – económicos. (BARBAT, 1998)

1.6.1 Herramientas para cuantificar la vulnerabilidad

Para determinar la vulnerabilidad históricamente se han desarrollado algunos instrumentos para cuantificar el nivel de fragilidad (Rojas, 2010), a continuación se listan algunos de ellos:

- Matrices de probabilidad de daños
- Funciones de vulnerabilidad
- Índices de vulnerabilidad
- Curvas de fragilidad

El presente estudio pretende estimar la vulnerabilidad de algunos edificios esenciales de la urbe. Las curvas de fragilidad se generan analíticamente mediante una simulación considerando la incertidumbre en la demanda sísmica y en los parámetros estructurales. La herramienta seleccionada para tal fin son las curvas de vulnerabilidad que se definen a continuación en 1.7.

1.7 Curvas de fragilidad

Las curvas de fragilidad muestran el funcionamiento de una estructura a partir de los estados límite de y de la demanda sísmica considerada. En general representan la probabilidad de que la respuesta de una estructura exceda un determinado estado límite, en función de un parámetro que define la intensidad del movimiento del suelo. (Bonett, 2003)

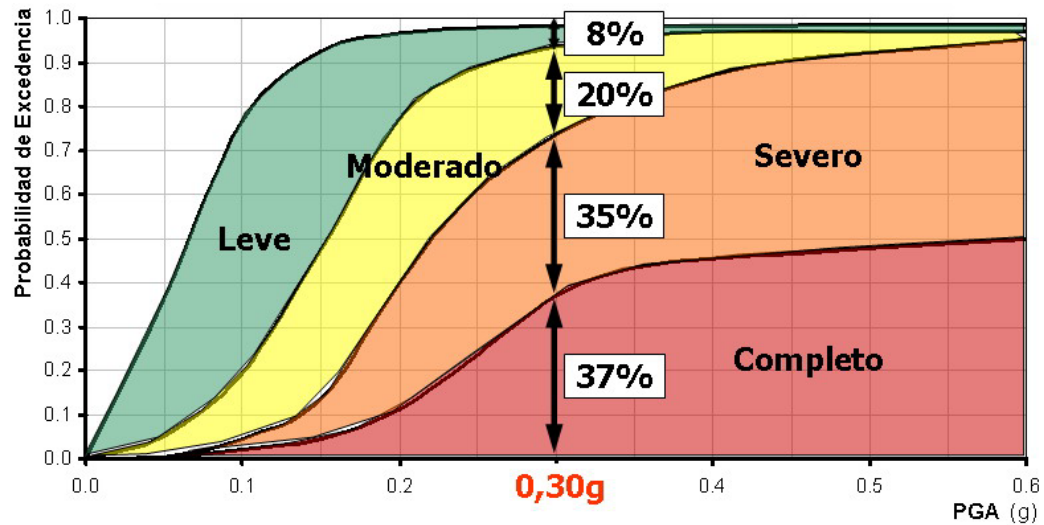


Figura 2. Ejemplo de curvas de fragilidad (Velásquez y Blondet, 2009)

Se generan a partir de la aplicación de distribución de probabilidad de falla (CDF) para alcanzar o exceder un estado de daño a partir de una distribución log-normal. La probabilidad condicional depende de PGA que es la medida de la intensidad del sismo.

1.8 Métodos para obtener las curvas de vulnerabilidad

Existen varios métodos para la obtención de curvas de vulnerabilidad, a continuación se detalla algunos:

1.8.1 Método de Cloud

La estructura está sometida a un conjunto de registros de sismos de diferentes valores aceleración pico. Este método proporciona una "nube" en lugar de una franja de valores de respuesta como se muestra en la figura 3. (Jalayer, 2003)

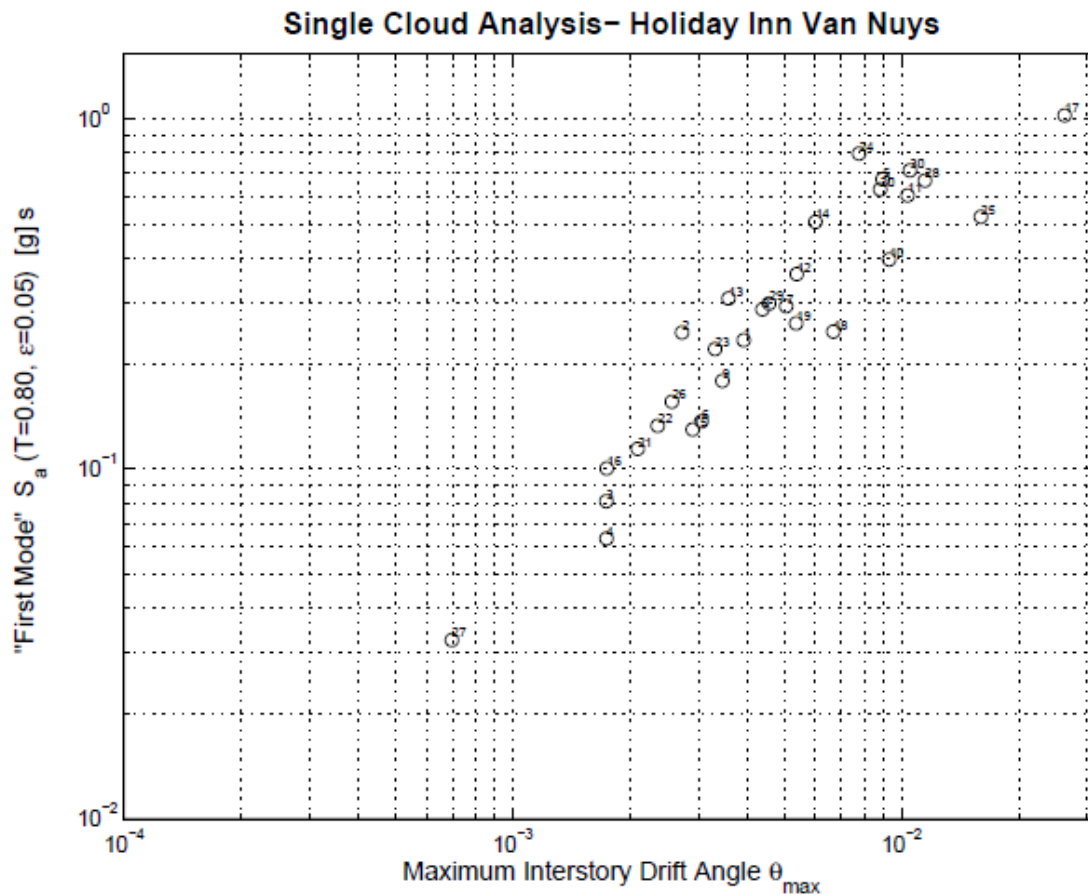


Figura 3. La "nube" de respuesta de la estructura sometida a un conjunto de registros de sismos (trazada en la escala logarítmica). (Jalayer, 2003)

1.8.2 Método MSA – MultipleStripeAnalysis

Los resultados del análisis de banda múltiple proporcionan información estadística acerca de la demanda en un amplio rango de valores de aceleración espectrales. Múltiples "rayas" de respuesta se obtienen aplicando a la estructura un conjunto de registros de sismos que se escalan a múltiples niveles de aceleración espectral. (Jalayer, 2003)

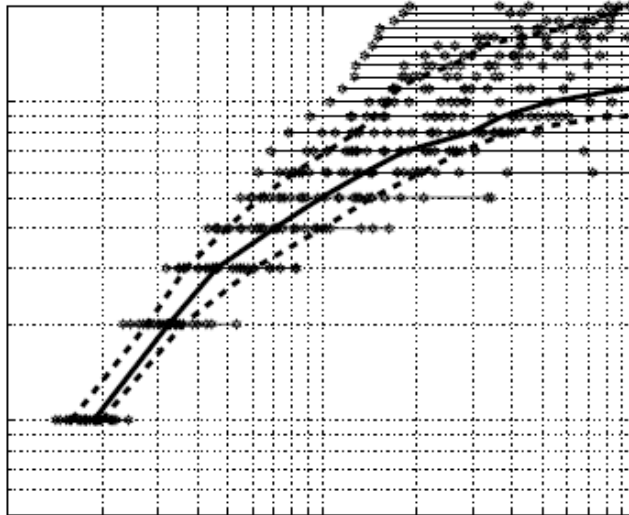


Figura 4. Ejemplo de análisis de banda múltiple en escala logarítmica. (Jalayer, 2003)

1.8.3 Incremental Dynamic Analysis (IDA)

Es la recopilación de los resultados de análisis de banda múltiple en una serie de entidades aleatorias conocidas como curvas de la IDA, es decir, cada registro de sismo se escala sucesivamente a múltiples niveles de aceleración espectrales y los ángulos de deriva entre pisos máximo resultante se calculan en cada caso. La curva IDA conecta los ángulos de deriva entre pisos resultantes correspondientes a cada registro de movimiento de tierra. (Jalayer, 2003).

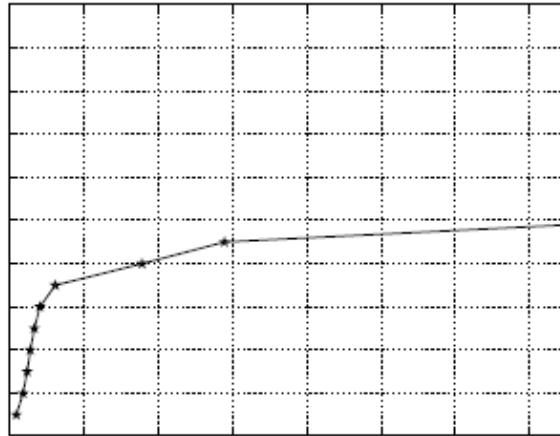


Figura 5. Ejemplo de curvas IDA con comportamiento agresivo (Jalayer, 2003)

1.8.4 Displacement Based Earthquake Loss Assessment (DBELA)

Produce la generación aleatoria de un lote de edificios, siguiendo la información de acuerdo a sus características geométricas y estructurales. Este método permite calcular la capacidad estructural del edificio y se compara con la demanda sísmica, lo que determina la probabilidad de daño para cada estado límite. (Zahran, 2009)

En esta investigación el método MSA (MultipleStripeAnalysis) se utiliza para determinar las curvas de fragilidad.

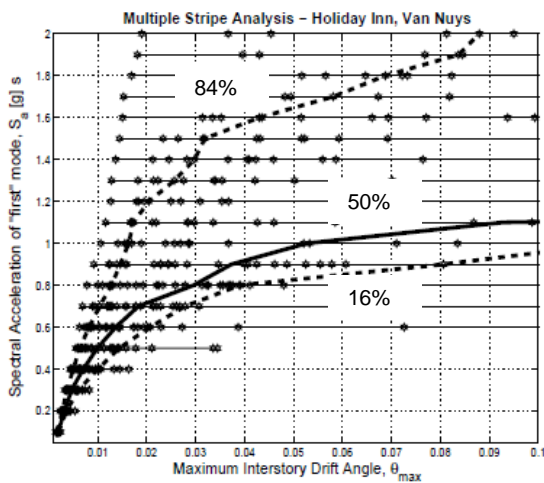
1.9 MultipleStripeAnalysis (MSA)

Para la estimación de los parámetros de demanda sobre un rango amplio de valores de aceleración espectral se requiere relativamente de un esfuerzo computacional mayor. Tiene un alcance de aplicación más amplio en comparación con los métodos de rango estrecho. Los métodos de amplio rango pueden trazar el comportamiento del sistema con respecto a los posibles movimientos de tierra (sismos) y una serie de probabilidades para los estados límite. Por lo tanto, se pueden utilizar no sólo para comprobar si la probabilidad de fallo es inferior a un nivel tolerable específica (Jalayer, 2003).

Los resultados del análisis de banda múltiple pueden proporcionar información estadística acerca de la demanda en un amplio rango de valores de aceleración espectrales. Múltiples "bandas" de respuesta se obtienen aplicando a la estructura de un conjunto de registros de sismos que se escalan a múltiples niveles de aceleración espectral. Las propiedades estadísticas de cada banda se obtienen de la misma manera como el análisis de una sola banda. (Jalayer, 2003).

La figura 6 ilustra el resultado del análisis de banda múltiple cuando la estructura se somete a una selección de los registros de movimiento de tierra.

a) Escala aritmética



b) Escala logarítmica

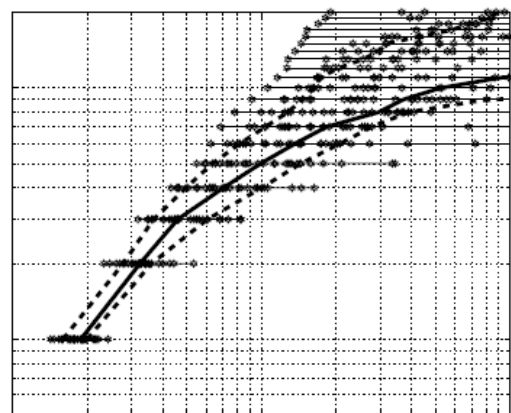


Figura 6. Ejemplo de análisis de banda múltiple. (Jalayer, 2003)

La figura 6-a muestra el análisis para un registro de sismos en escala aritmética, las líneas de 16%, 50% y 84% indican los porcentajes de bandas para cada una; así también la figura 6-b la misma selección pero en escala aritmética.

La media de la demanda para una aceleración espectral, puede ser estimada por la curva de 50%. La desviación estándar se estima con el ancho de banda promedio creado por los percentiles 16%, 50% y 84% en la escala logarítmica. (Jalayer, 2003)

El método de banda múltiple proporciona una imagen mucho más completa en cuanto a la tendencia general (mediana) y la dispersión de la respuesta (desviación estándar)

evolucionan bajo un aumento gradual de los niveles de sismos. Varían aproximadamente de 0,10g (10% de la gravedad) y 1,8g (180% de la gravedad), la mediana de la respuesta "suaviza" rápidamente y la dispersión aumenta notablemente. (Jalayer, 2003)

La figura 7 indica las etapas que se sigue para la obtención de curvas de fragilidad.

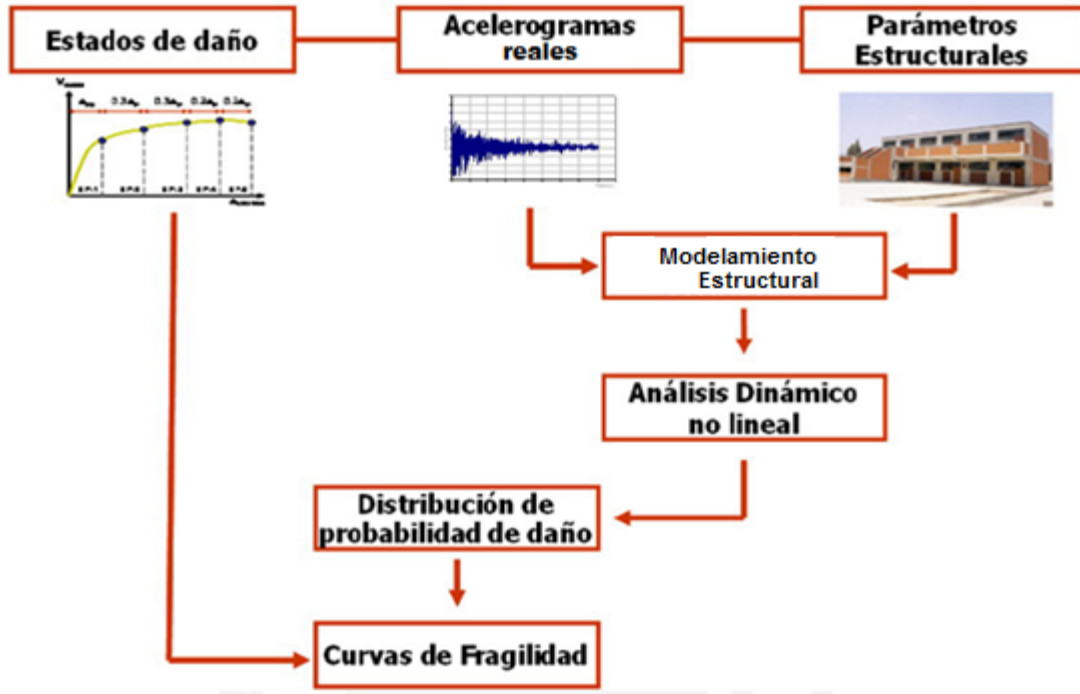


Figura 7. Metodología para la simulación de curvas de fragilidad (Adaptado de Velásquez, 2003)

El análisis de banda múltiple es también un método de análisis dinámico no lineal que puede ser utilizado para las evaluaciones basadas en el rendimiento para una amplia gama de intensidades de movimiento de tierra y múltiples objetivos de rendimiento de inicio de daños a través de colapso global. Alternativamente, la cantidad de esfuerzo de análisis necesarios en las evaluaciones de rendimiento se puede reducir mediante la realización de los análisis estructurales y la estimación de los parámetros principales en la región de los niveles de intensidad del movimiento del terreno de interés. En particular, el análisis de una sola banda y doble banda puede proporcionar evaluaciones demanda probabilísticas locales utilizando el número mínimo de análisis estructurales (alrededor de 20 a 40). (Jalayer, 2003).

1.10 Edificios esenciales

Los edificios de importancia especial (esencial) son aquellos cuya destrucción por el terremoto, puede interrumpir un servicio imprescindible o dar lugar a efectos catastróficos. En este grupo se incluyen las construcciones que consideren en el planeamiento urbanístico y documentos públicos análogos así como en reglamentaciones más específicas y, al menos, las siguientes construcciones:

- a) Hospitales, centros o instalaciones sanitarias de cierta importancia.
- b) Edificios e instalaciones básicas de comunicaciones, radio, televisión, centrales telefónicas y telegráficas.
- c) Edificios para centros de organización y coordinación de funciones para casos de desastre.
- d) Edificios para personal y equipos de ayuda, como cuarteles de bomberos, policía, fuerzas armadas y parques de maquinaria y de ambulancias.
- e) Las construcciones para instalaciones básicas de las poblaciones como depósitos de agua, gas, combustibles, estaciones de bombeo, redes de distribución, centrales eléctricas y centros de transformación.
- f) Las estructuras pertenecientes a vías de comunicación tales como puentes, muros, etc. que estén clasificadas como de importancia especial en las normativas o disposiciones específicas de puentes de carretera y de ferrocarril.
- g) Edificios e instalaciones vitales de los medios de transporte en las estaciones de ferrocarril, aeropuertos y puertos.
- h) Las construcciones catalogadas como monumentos históricos o artísticos, o bien de interés cultural o similar, por los órganos competentes de las Administraciones Públicas. Las construcciones destinadas a espectáculos públicos y las grandes superficies comerciales, en las que se prevea una ocupación masiva de personas. **(CEDEX, 2005)**
- i) Las instituciones educativas que acogen a gran cantidad de alumnado, además de sectores en donde es esencial su edificación.

1.11 Materiales y sistema estructural

1.11.1 Adobe

El adobe es un material de construcción hecho con arena, arcilla y agua, y, a veces con fibra o material orgánico como paja, ramas o estiércol. Es moldeado en forma de ladrillo y se deja secar al sol. El adobe es conocido por ser un material antiguo capaz de hacer estructuras muy duraderas. (Lantada, 2007)

1.11.2 Mampostería

Es el sistema tradicional de construcción, el cual consiste en levantar muros mediante colocación de elementos que pueden ser: ladrillos, bloques de cemento ó piedras talladas.(Lantada, 2007)

1.11.3 Concreto

Es un material de construcción compuesto de cemento, agregados (finos y gruesos) y agua, dependiendo de las cantidades de cada uno de estos elementos con respecto al total de la mezcla, se logra un mejor comportamiento tanto físico como mecánico de este. Este material se utiliza en elementos estructurales de edificaciones como muros, vigas, columnas, losas y también para la construcción de puentes, autopistas y túneles. Dependiendo de la obra y la combinación de los materiales, se pueden obtener diferentes tipos de concreto y por ende diferentes valores de resistencia a la compresión (f'_c). (Lantada, 2007)

1.11.3.1 Coeficiente de Poisson (μ)

La relación entre la deformación por acortamiento en la dirección de la carga y la expansión en la dirección transversal, es lo que se denomina coeficiente de Poisson (Porrero et al, 2004), este coeficiente se mantiene generalmente constante para cada material, para el concreto es de 0.20 (Porrero, 2004).

1.11.3.2 Relación Tensión - Deformación Unitaria (f-ε)

Esta relación se determina mediante ensayos a la compresión, donde a medida que se aumenta la tensión de compresión se lleva control del cambio de longitud ΔL en función de la longitud inicial L_0 . El cociente entre la deformación y la longitud inicial $\Delta L/L_0$, se define como deformación unitaria de compresión (ϵ_c). El concreto alcanza deformación unitarias de 0.2% a 0.3%. (Porrero, 204).

1.11.3.3 Módulo de rigidez.

Los ensayos para determinar el módulo de rigidez del concreto se hacen en confines investigativos. El módulo de rigidez, es la resistencia de los planos adyacentes de una pieza a ser desplazados por sollicitaciones de sentido contrario, paralelas a dichos planos o resistencia que oponen los materiales a ser deformados por corte puro. (Porrero, 204).

1.11.3.4 Módulo de elasticidad (E_c)

Es la relación entre la tensión aplicada (Δf) y la deformación unitaria resultante (ϵ) como se muestra en la ecuación (1.2). Esta posee las mismas unidades de la tensión aplicada (kgf/cm^2), ya que la deformación unitaria es adimensional (mm/mm).

$$E_c = \frac{\Delta f}{\epsilon} \quad (1.2)$$

Donde:

E_c = Módulo de elasticidad del concreto.

Δf = Tensión aplicada.

ϵ = Deformación unitaria.

El parámetro que se utiliza generalmente para determinar la deformación del concreto es el módulo de elasticidad (Porrero, 2004).

1.11.4 Concreto reforzado

Es el material de construcción que más se utiliza en las obras en todo el mundo, debido a su moldeabilidad y durabilidad. Este se ha reforzado con diferentes materiales a lo largo de la historia, con materiales como fibras vegetales, metálicas y plásticas, pero varias de ellas no han dado buenos resultados debido a la durabilidad (Porrero, 2004).

Está formado por concreto y barras de acero, donde el concreto aporta la resistencia a compresión y el acero por su elevada ductilidad, aporta la resistencia a la tracción, además de confinar el concreto en su interior para lograr un comportamiento más adecuado.

1.11.5 Acero

Es una aleación de hierro y carbono, mezclados en caliente, con pequeñas cantidades de otros elementos para variar sus propiedades físicas y mecánicas o simplemente por impurezas. (Rojas, 2010)

En el concreto reforzado se utiliza el acero en forma de varillas, o varillas de refuerzo. Las varillas poseen una resistencia nominal (F_y) de 2800 y 4200 kgf/cm². El módulo de elasticidad del acero es de 2.1×10^6 kgf/cm². Estas barras de acero poseen en la superficie "resaltes" o "estrías".

1.11.6 Sistema estructural

Un sistema estructural debe distribuir dos tipos de cargas; las cargas verticales o gravitacionales, producto del peso propio de los elementos que forman el sistema estructural, así como de las cargas variables y de servicio que cargan constantemente sobre el sistema; y el segundo tipo son las cargas laterales productos de las acciones sísmicas y de viento, entre otras. (Alonso, 2007).

Los sistemas para resistir cargas verticales son:

- Diafragmas horizontales, formado por losas macizas, losas nervadas con nervios en una o dos direcciones y otro tipo de losa que genere entre sí suficiente rigidez y resistencia para trabajar como un plano rígido.
- Sistemas de entramado vertical, formado por vigas de transferencia, columnas, y pantallas o paredes, distribuyendo las cargas entre dichos elementos hasta la fundación de la estructura.

Los sistemas para resistir cargas laterales son:

- Sistemas de pórticos resistentes a momentos, es un sistema formado por marcos rígidos (vigas y columnas) capaces de resistir los momentos a flexión causados por las cargas laterales así como las fuerzas gravitacionales.
- Sistema híbrido de pórticos más tabiquería, los pórticos de concreto reforzado o de acero resistentes a momento, son rellenos total o parcialmente con paredes de bloques de arcilla comúnmente llama mampostería o tabiquería. (Romme, 2010)

CAPITULO II

CRITERIOS DE ANÁLISIS

2.1 Daño sísmico

Es el grado de destrucción causado por un fenómeno peligroso sobre las personas y bienes en general; desde el punto estructural, son las deformaciones irrecuperables o inelásticas debido al desastre. (Corsanego, 1995)

Para evaluar y explicar los efectos de éste fenómeno se han de desarrollado varios procedimientos de análisis y/o estudios experimentales para el comportamiento de un material, además, se ha empezado a incluir la no linealidad de los materiales (información sobre fenómenos que sobrepasan el límite elástico). Para ello, existen varios indicadores o índices de daño para cuantificar el daño local y global de la estructura.

2.1.1 Representación del daño

Los estados discretos de daño son una descripción cualitativa de los efectos producidos por un sismo sobre los elementos, los ocupantes y funcionamiento de la estructura, además, representan una condición límite o tolerable establecida en función de tres aspectos: 1) daños físicos sobre elementos estructurales y no estructurales, 2) riesgo al que se encuentran expuestos los ocupantes de la edificación y 3) funcionalidad de la edificación posterior al terremoto.

Se consideran cinco estados de daño (**EERI, 1994**):

- Sin daño.
- Leve: daños menores en elementos no estructurales. la estructura funciona con normalidad en menos de una semana.
- Moderado: daños no estructurales considerables, se producen pequeños daños estructurales. La estructura puede estar cerrada hasta por 3 meses. Pérdida de vidas humanas es mínimo.
- Severo: daños estructurales aumentan y es posible que la estructura deba estar cerrada por periodo extenso de tiempo. Es posible demoler la estructura. Posible riesgo de pérdidas humanas.

- Total – Colapso o muy severo: los daños son irreparables y probabilidad muy alta que se produzcan pérdidas humanas.

2.1.2 Índices o indicadores de daño

Son la selección de un funcional apropiado que permita cuantificar la respuesta calculada a partir del análisis del modelo mecánico para un grupo de movimientos sísmicos, que representan el grado de daño sufrido por la estructura. Estos pueden ser: deformaciones unitarias, curvatura, desplazamientos, deriva entre piso, fuerzas, entre otras. La elección de las variables se relaciona con el tipo de daño este puede ser local, intermedio o global. (Bonett, 2003)

2.2. Comportamiento sísmico de edificios

El comportamiento sísmico comprende los elementos estructurales como no estructurales ante la acción sísmica. Está directamente relacionado con las características de los materiales de la estructura. (Barbat, 1998)

2.2.1 Binomio Capacidad Demanda

El desempeño se cuantifica en términos de la cantidad de daño en un edificio afectado por un movimiento sísmico y el impacto que tienen estos daños en las actividades posteriores al evento.(Bonett, 2003)

2.2.1.1 Capacidad Estructural

Depende de la resistencia y deformación máxima de sus componentes individuales. Para determinar la capacidad es necesario utilizar un análisis estático no lineal (pushover), a partir de una serie de análisis elásticos secuenciales que superponen aproximación a un diagrama llamado curva de capacidad, la cual relaciona el cortante basal y los desplazamientos.(Bonett, 2003).

2.2.1.1.1 Análisis estático no lineal (Pushover)

Es una aproximación de la forma no lineal de respuesta de una estructura cuando se expone a una carga dinámica de sismo. La aproximación estática consiste en aplicar una fuerza lateral a un modelo que tiene en cuenta las no linealidades de una estructura ya diseñada, y en forma progresiva ir aumentando esa carga hasta que se obtenga el desplazamiento objetivo o se alcance el colapso bajo la combinación de las cargas laterales y los efectos P-delta. Durante el proceso se grafica el cortante basal contra desplazamiento en el último nivel, como se muestra en la figura 8. (Arango, Paz y Duque, 2009)

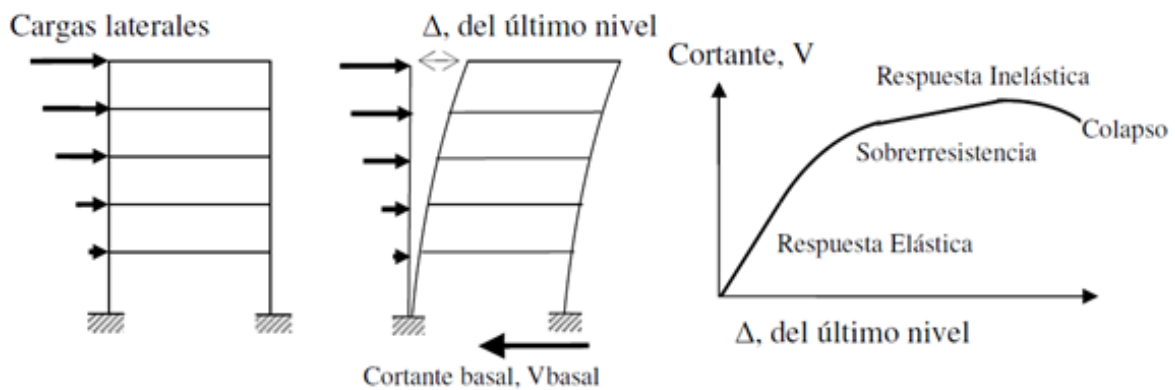


Figura 8. Secuencia del proceso de análisis pushover. (Arango, Paz y Duque, 2009)

La gráfica de cortante basal contra desplazamiento se transforma en términos de aceleración espectral contra desplazamiento espectral, conocida como curva de capacidad o espectro de capacidad de la estructura y es comparable con la gráfica de demanda obtenida a partir de los espectros de diseño.

Este procedimiento sirve para varios propósitos: revela las formas indeseables de formación de mecanismos inelásticos, permite una evaluación de la máxima capacidad de deformación de la estructura, permite una evaluación del daño en la estructura inducido por el incremento de deformaciones y permite una mejor estimación de las máximas deformaciones con diferentes niveles de sismo (Christopoulos y Filiatrault, 2006).

2.2.1.2 Demanda sísmica

Se representa a partir de un espectro de respuesta que indica la respuesta máxima de sistemas de un grado de libertad como función de sus frecuencias. El espectro de respuesta de las aceleraciones se utiliza para el análisis y diseño de las estructuras, considerando también desplazamientos y deformaciones, el cual consiste en un diagrama de aceleración espectral vs desplazamiento espectral. Las líneas radiales que parten desde el origen son los periodos de la estructura. (Bonett, 2003)

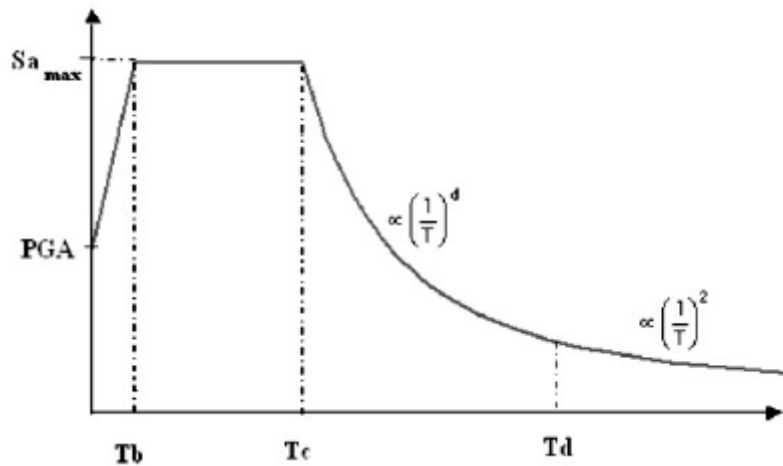


Figura 9. Definición del espectro elástico de respuesta (González y Bairán, 2010)

2.2.1.3 Punto de desempeño

El punto de desempeño nos permite analizar la vulnerabilidad, daño sísmico y una posible rehabilitación de estructuras existentes o para el diseño de nuevas; nos permite conocer el comportamiento de una estructura la cual ha sido sometida a movimientos sísmicos de diferente intensidad. (Bonett, 2003)

2.2.1.3.1 Deriva de piso

Es la diferencia entre los desplazamientos horizontales totales de un nudo en el piso i , Δ_i , y un nudo localizado en el mismo eje vertical en el piso $i-1$, Δ_{i-1} , divididos por la altura del piso h_i , esto es:

$$\delta_i = \frac{\Delta_i - \Delta_{i-1}}{h_i} \quad (2.1)$$

A partir de la ecuación (3.1) se determina el valor máximo de la deriva entre piso δ_{max} :

$$\delta_{max} = \max(\delta_i) \text{ para } i = 1, 2, \dots, n \quad (2.2)$$

Siendo n el número de niveles o pisos de la estructura.

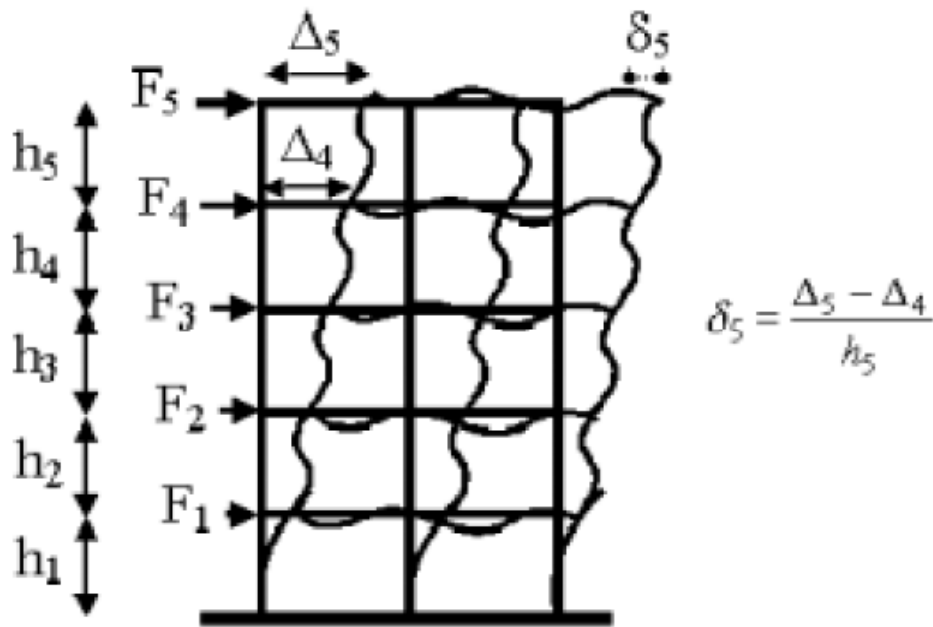


Figura 10. Representación del concepto de la deriva entre piso (Bonett, 2003)

CAPITULO III

TIPOLOGÍAS

En el presente proyecto, el primer paso para realizar la investigación es la recolección de la información considerando la clasificación de los edificios a partir de su importancia siendo considerados 43 edificios esenciales partiendo de su definición, los cuales se muestra un resumen en la tabla 3.

El levantamiento estructural se realiza a través de visita de campo (vigas y columnas), además de observar el estado en el que se encuentran. La encuesta para determinar el estado de las edificaciones esenciales se encuentra en el Anexo 1A Y Anexo 1B.

De esta manera, a partir de las propiedades geométricas de los modelos y por simple deducción se agrupan de acuerdo a sus características similares, en nuestro caso el ancho de vano y el número de niveles de la edificación.

Primero: Se agrupa las edificios a partir del número de niveles que poseen: el tipo A, son edificios de 1 a 3 niveles; el tipo B, edificios de 4 a 6 niveles; y el tipo C, edificios de 7 niveles en adelante. Esta clasificación se muestra en la tabla 4, la misma que contiene el ancho de vano de cada edificación. La altura de los edificios se basa en una altura tipo como consta en la Norma Ecuatoriana de la Construcción (NEC, 2013) para la modelación estructural; entonces, el valor máximo entre espaciamiento entre losas es 3 metros.

Segundo: Para diferenciar los diferentes modelos se toma como referencia el año de publicación de la primera normativa de diseños sismorresistente que fue en el año 1982.

Así se divide en dos periodos:

- Grupo 1: Estructuras Sin Diseño Sismo Resistente que fueron construidas antes de 1982, denotadas por las letras SDSR.
- Grupo 2: Estructuras Con Diseño Sismo Resistente, construidas después del año 1982, denotadas por las letras CDSR.

Tercero: Se toma en cuenta las tipologías mencionadas anteriormente: A, B y C que corresponden al número de niveles que son de 1 a 3, de 4 a 6 y 7 en adelante respectivamente.

Tabla 3. Informe de estados de edificios esenciales de la ciudad de Loja

EDIFICIOS IMPORTANTES	Tipo de construcción	Número de Plantas	Materiales de Acabado Exterior	Estado
CLASIFICACIÓN "A"				
1 Hospital Regional Isidro Ayora	Hormigón Armado	6	Mortero	Bueno
2 Centro de Salud Nº 1	Mampostería	1	Mortero	Regular
3 Centro de Salud Nº 2	Mampostería	2	Mortero	Bueno
4 Centro de Salud Nº 3	Hormigón Armado	7	Ventanales	Regular
5 Hospital del Seguro Social	Hormigón Armado	7	Mortero	Bueno
6 Solca	Acero-Concreto	7	Ladrillo visto	Muy bueno
7 Hospital Militar	Madera-concreto	2	Mortero	Regular
CLASIFICACIÓN "B"				
8 Loja Radio Club	Hormigón Armado	2	Mortero-Cerámica	Bueno
9 Pacifictel	Hormigón Armado	4	Mortero	Bueno
CLASIFICACIÓN "C"				
10 Gobernación de la Provincia de Loja	Madera-Concreto	2	Mortero	Bueno
11 Municipio de Loja	Hormigón Armado	4	Mortero	Bueno
12 Gobierno Provincial de Loja	Hormigón Armado	4	Mortero	Bueno
13 Senplades	Hormigón Armado	7	Mortero	Bueno
14 Ministerio de Transporte y Obras Públicas	Hormigón Armado	7	Mortero	Bueno
15 Corte de Justicia	Hormigón Armado	5	Mortero	Muy bueno
16 Fiscalía	Hormigón Armado	7	Mortero-Cerámica	Bueno
17 Contraloría General del Estado	Hormigón Armado	4	Mortero-Cerámica	Bueno
CLASIFICACIÓN "D"				
18 Cruz Roja	Hormigón Armado	4	Mortero	Bueno
19 Bomberos Inmaculada	Hormigón Armado	2	Mortero	Muy bueno
20 Bomberos Punzara	Hormigón Armado	2	Mortero	Malo
21 Bomberos Centro	Hormigón Armado	5	Mortero	Bueno
22 Policía	Hormigón Armado	2	Mortero	Bueno
CLASIFICACIÓN "I"				
23 Mercado Gran Colombia	Mampostería	2	Mortero	Bueno
24 Mercado Central	Hormigón Armado	3	Mortero	Bueno
25 Mercado San Sebastian	Adobe-Mampostería	2	Mortero	Regular
26 Escuela Miguel Riofrío	Adobe-Mampostería	3	Mortero	Regular
27 Colegio Bernardo Valdivieso	Hormigón Armado	2	Mortero	Regular
28 Colegio 27 de Febrero	Hormigón Armado	3	Mortero	Muy bueno
29 Colegio Manuel Cabrera Lozano	Hormigón Armado	4	Mortero	Bueno
30 Escuela IV Centenario	Mampostería	2	Mortero	Regular
31 Colegio Adolfo Valarezo	Hormigón Armado	3	Mortero	Bueno
32 Escuela Julio Ordoñez	Mampostería	1	Mortero	Regular
33 Colegio Beatriz Cueva de Ayora	Hormigón Armado	4	Mortero-Cerámica	Bueno
34 Conservatorio Salvador Bustamante Celi	Mampostería	3	Mortero	Bueno
35 Escuela Lauro Damerval Ayora	Hormigón Armado	3	Mortero	Regular
36 Escuela Alonzo de Mercadillo	Mampostería	1	Mortero-Cerámica	Bueno
37 Colegio Pio Jaramillo Alvarado	Hormigón Armado	3	Mortero-Cerámica	Bueno
38 Escuela Municipal Héroes del Cenepa	Hormigón Armado	2	Mortero	Bueno
39 Colegio La Salle	Hormigón Armado	3	Mortero	Muy bueno
40 Universidad Técnica Particular de Loja	Hormigón Armado	4	Mortero-Cerámica	Bueno
41 Colegio Santa Mariana de Jesús	Adobe-Mampostería	3	Mortero	Bueno
42 Edificio Colombiano	Hormigón Armado	9	Mortero	Bueno
43 Universidad Nacional de Loja	Hormigón Armado	4	Mortero	Bueno

Fuente:Elaboración propia de la autora.

Tabla 4. Definición de las tipologías

CLASIFICACIÓN TIPO A

Edificación esencial	No. Plantas	Ancho vano (m)
Centro de Salud Nº 1	1	10
Centro de Salud Nº 2	2	18
Hospital Militar	2	22
Loja Radio Club	2	10
Gobernación de la Provincia de Loja	2	12
Bomberos Inmaculada	2	8
Bomberos Punzara	2	6
Policía	2	20
Mercado Gran Colombia	2	30
Mercado Central	3	55
Mercado San Sebastian	2	21
Escuela Miguel Riofrío	3	25
Colegio Bernardo Valdivieso	2	40
Colegio 27 de Febrero	3	25
Escuela IV Centenario	2	30
Colegio Adolfo Valarezo	3	25
Escuela Julio Ordoñez	1	25
Conservatorio Salvador Bustamante Celi	3	35
Escuela Lauro Damerval Ayora	3	20
Escuela Manuel José Aguirre	1	20
Escuela Alonzo de Mercadillo	1	25
Colegio Pio Jaramillo Alvarado	3	15
Escuela Municipal Héroes del Cenepa	2	15
Colegio Santa Mariana de Jesús	3	25
COLEGIO LA SALLE	3	30



Figura 11. Ejemplo de clasificación tipo A, edificio Jefatura del Área de Salud No. 2 “Hugo Guillermo González”

CLASIFICACIÓN TIPO B

Edificación esencial	No. Plantas	Ancho vano (m)
Hospital Regional Isidro Ayora	6	40
CNT (Pacifictel)	4	20
Municipio de Loja	4	25
Gobierno Provincial de Loja	4	30
Corte de Justicia	5	25
Contraloría General del Estado	4	20
Cruz Roja	4	15
Bomberos Centro	5	20
Colegio Manuel Cabrera Lozano	4	20
Colegio Beatriz Cueva de Ayora	4	20
Universidad Técnica Particular de Loja	4	20
Universidad Nacional de Loja	4	35



Figura 12. Ejemplo de clasificación tipo B, Cuerpo de Bomberos Centro

Fuente:Elaboración propia de la autora.



Figura 13. Ejemplo de clasificación tipo C, Hospital de Seguro Social

Las tablas 5, 6 y 7, nos indica las participaciones de cada edificación de acuerdo a lo señalado anteriormente, su tipo, geometría y a su clasificación: con diseño o sin diseño resistente (sin diseño sismorresistente SDSR, con diseño sismorresistente CDSR).

Las participaciones corresponden al número de edificaciones que posee cada clase de cada tipo (A, B, C) a partir del ancho de vano, así para cada clase por ejemplo A1, A2 y A3 y consten dentro de su rango corresponde a esa clase. Además, la participación se determina por cada tipo de edificios (SDSR y CDSR); a su vez, se establece tomando en cuenta el número de edificios dividido para la cantidad total de edificios correspondiente a cada clase. Por ejemplo, en la clase A2 – SDSR la cantidad parcial son 8 edificios y el total de esta clase (SDSR) son 16 edificios, por tanto su participación es: $8 / 16 = 0,50$.

De esta manera, el procedimiento para cada clase y el modelo tipo que se elige es el que cuenta con mayor participación dentro de cada clase, siendo el valor máximo 1.

Tabla 5. Participación de los edificios tipo A

Clase	A (m)	No Edificios		PARTICIPACIÓN	
		SDSR	CDSR	SDSR	CDSR
A1	15	4	4	0,25	0,44
A2	25	8	2	0,50	0,22
A3	45	4	3	0,25	0,33
Total		16	9	1	1

Tabla 6. Participación de los edificios tipo B

Clase	A (m)	No Edificios		PARTICIPACIÓN	
		SDSR	CDSR	SDSR	CDSR
B1	20	4	2	1,00	0,25
B2	25	0	3	0,00	0,38
B3	30	0	3	0,00	0,38
Total		4	8	1	1

Tabla 7. Participación de los edificios tipo C

Clase	A (m)	No Edificios		PARTICIPACIÓN	
		SDSR	CDSR	SDSR	CDSR
C1	20	0	2	0,00	0,33
C2	35	0	2	0,00	0,33
C3	40	1	2	1,00	0,33
Total		1	6	1	1

Fuente:Elaboración propia de la autora.

En las tablas observamos nomenclaturas A1, A2, A3, B1, B2, B3, C1, C2 y C3 que son los anchos dominantes del grupo de edificaciones.

Una vez determinadas las participaciones de cada tipología, se ha dispuesto que para cada clasificación exista un modelo tipo para ser representado para su posterior modelación. Esto es, para la primera tipología, su modelo es A2 con un ancho de vano de 25 metros; para la segunda, su modelo es B1 con un ancho de vano de 20 metros; y para la tercera tipología, su modelo es C3 con un ancho de vano de 40 metros.

Para todas las tipologías la altura de la edificación corresponderá al número de nivel dominante de cada grupo, esto es: para el tipo A2, la altura será de 2 niveles; para el tipo B1, la altura será 4 niveles; y para el tipo C3, la altura será 7 niveles.

3.1 Construcción de los modelos

El análisis de una acción sísmica sobre una estructura, es imprescindible, de tal manera que la elección del modelo depende en gran manera de las características de la estructura y la información que se posea sobre la misma. La información que no garantiza que sea completa; sin embargo, el modelo que se elija será el más sencillo del grupo a quien lo representa.

Las tipologías son elementos unidimensionales, seleccionadas a partir de sus participaciones, de las propiedades de los materiales, de las secciones representativas de cada modelo. Las losas son consideradas como diafragmas rígidos para la modelación de las edificaciones.

En las figura 10, 11 y 12 indican los modelos de acuerdo a su clasificación. La altura de las edificaciones es de 3 metros y el ancho de vano de 5 metros.

MODELO TIPO A2

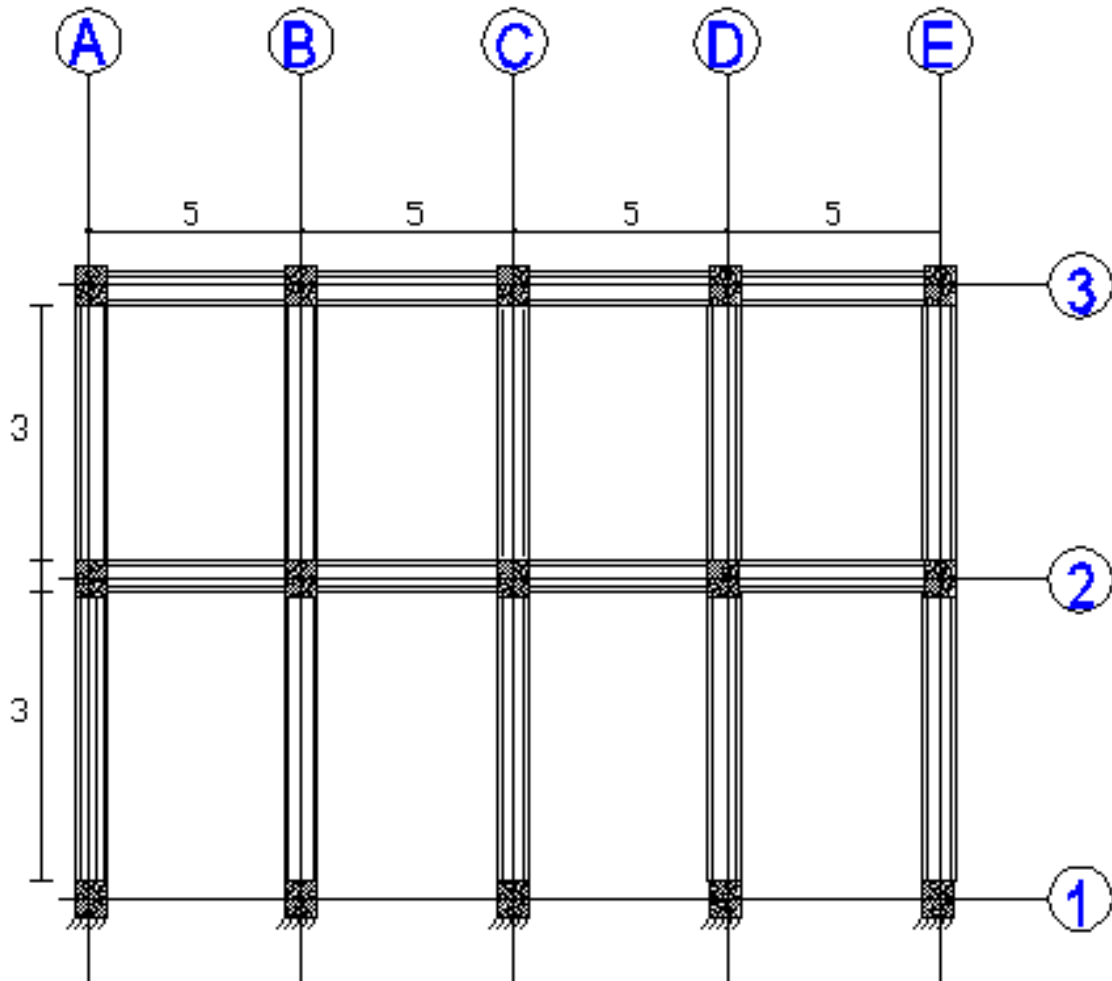


Figura 14. Modelo tipo A2

MODELO TIPO B1

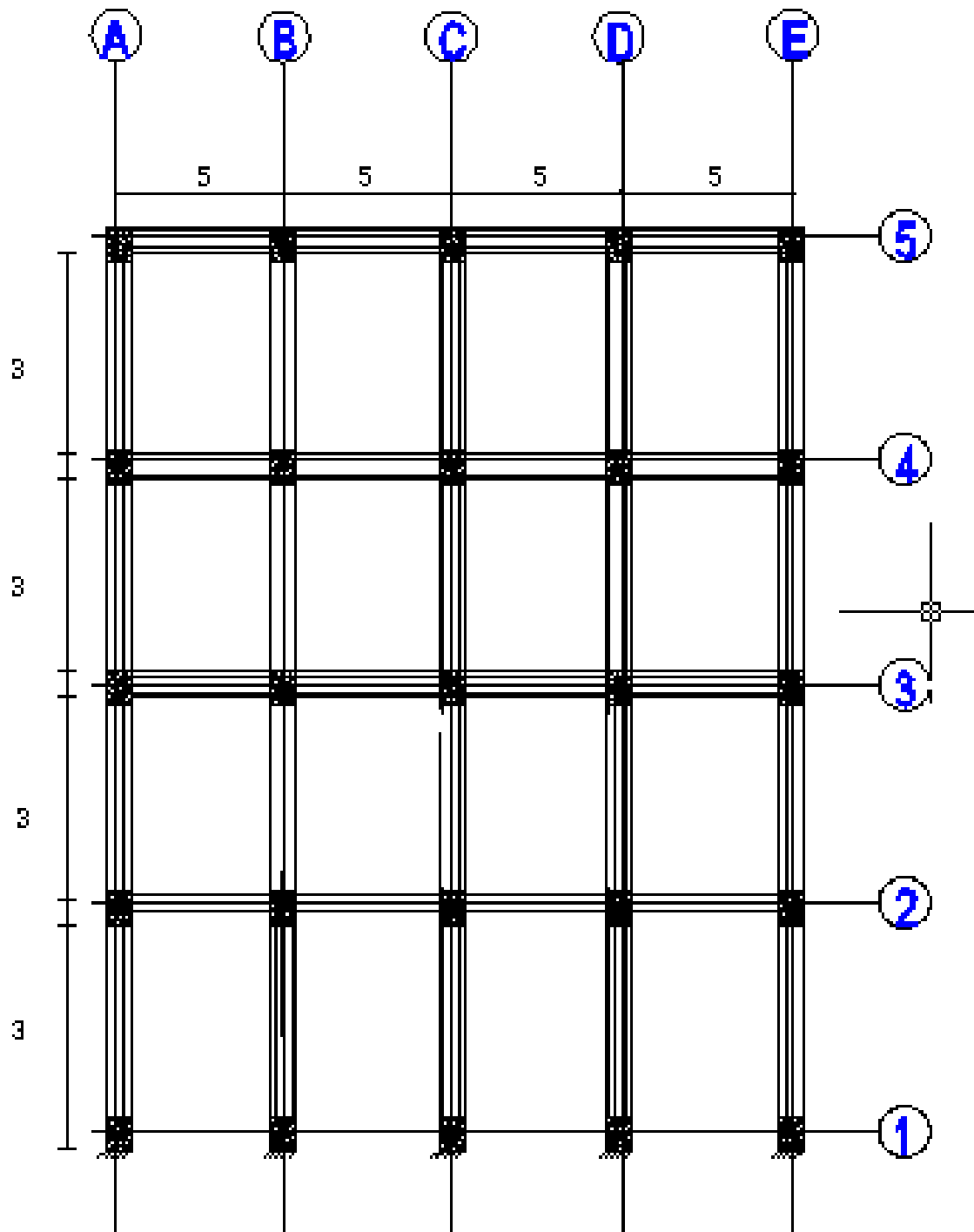


Figura 15. Modelo tipo B1

MODELO TIPO C3

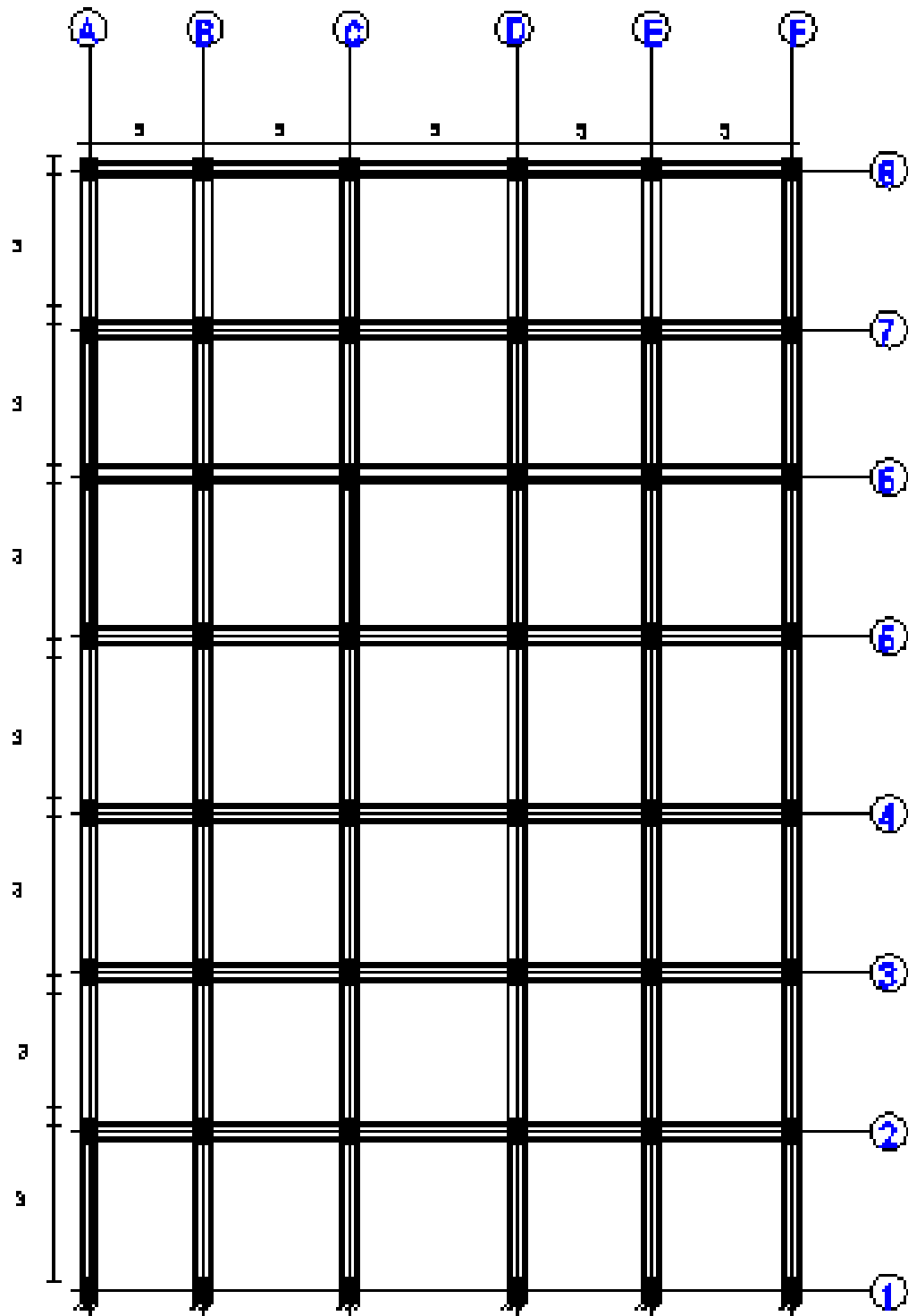


Figura 16. Modelo tipo C3

3.2 Propiedades de los materiales

Las resistencia a compresión del concreto ($f'c$) de 20 MPa (200 kgf/cm²); y se empleados tipos de acero de refuerzo cuyo límite de fluencia es de $f_y = 280$ MPa y $f_y = 420$ MPa, esto debido a falta de información de los edificios porque no se conoce el valor real de acero empleado en las edificaciones.

Además, se ha propuesto realizar un árbol lógico (figura 13) que permita evaluar la edificación en base a su geometría (secciones de vigas y columnas) a partir de las observaciones de campo.

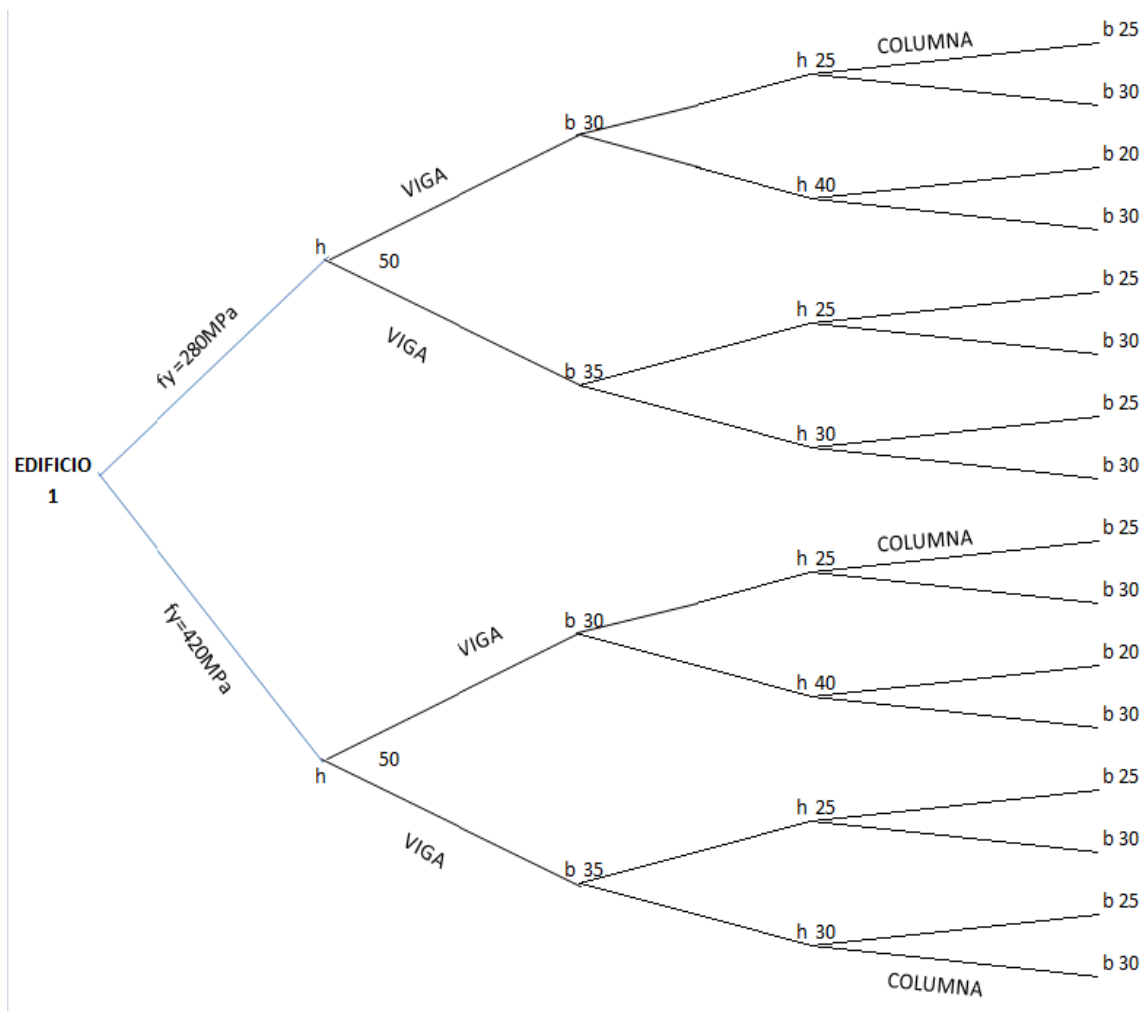


Figura 17.Árbol lógico para cada tipología y límite de fluencia del acero. EDIFICIO 1

Los árboles lógicos para los siguientes edificios los encuentra en el Anexo 2A y Anexo 2B.

3.3 Dimensiones de las secciones tipo

Las dimensiones de las columnas y vigas considerados en los modelos A2, B1 y C3, llamados en adelante Edificio 1, Edificio 2 y Edificio 3 respectivamente (debido a facilidad de reconocimiento de la edificación), se determinan a partir de las observaciones realizadas en campo (hipotéticas). Las dimensiones de la losa no serán consideradas ya que se ha considerado únicamente la armadura de la estructura. Los valores de las secciones de columnas y vigas se indican en la tabla 8, resumiendo los modelos a ser analizados posteriormente.

Tabla 8. Dimensiones de las secciones utilizadas para los modelos tipo a partir de árbol lógico

Descripción	Vigas		Columnas	
	h (altura)	b (ancho)	h (altura)	b (ancho)
Edificio 1	50	30	25	25
	50	30	25	30
	50	30	40	20
	50	30	40	30
	50	35	25	25
	50	35	25	30
	50	35	30	25
	50	35	30	30
Edificio 2	50	30	25	25
	50	30	25	30
	50	30	30	30
	50	30	30	35
	50	35	25	25
	50	35	25	30
	50	35	30	30
	50	35	30	35
Edificio 3	50	30	40	40
	50	30	40	50
	50	30	50	50
	50	30	50	60
	50	40	50	50
	50	40	50	60
	50	40	60	60
	50	40	60	70

Fuente: Elaboración propia de la autora.

CAPITULO IV

ANÁLISIS DE FRAGILIDAD

La metodología empleada para determinar la vulnerabilidad en la presente investigación, se basa en el análisis llamado MSA que busca estudiar el comportamiento de las edificaciones esenciales ante un espectro de sismos considerados previamente en función de las características locales de la ciudad de Loja, a través del modelación estructural de una muestra representativa.

4.1 Selección de sismos

En la figura 14 se observa el mapa de actividad sísmica del Ecuador, el cual nos indica el valor de la aceleración pico del suelo (PGA). En el caso de la ciudad de Loja se han presentado sismos cuya magnitud oscila entre 5.5 grados y 6.5 grados en la escala de momento sísmico con velocidades de corte que varían de 30 a 400 m/s y con una distancia al epicentro entre 15 y 35 km. Según la Norma Ecuatoriana de la Construcción, la provincia de Loja tiene un PGA de 0.25g a nivel de roca.

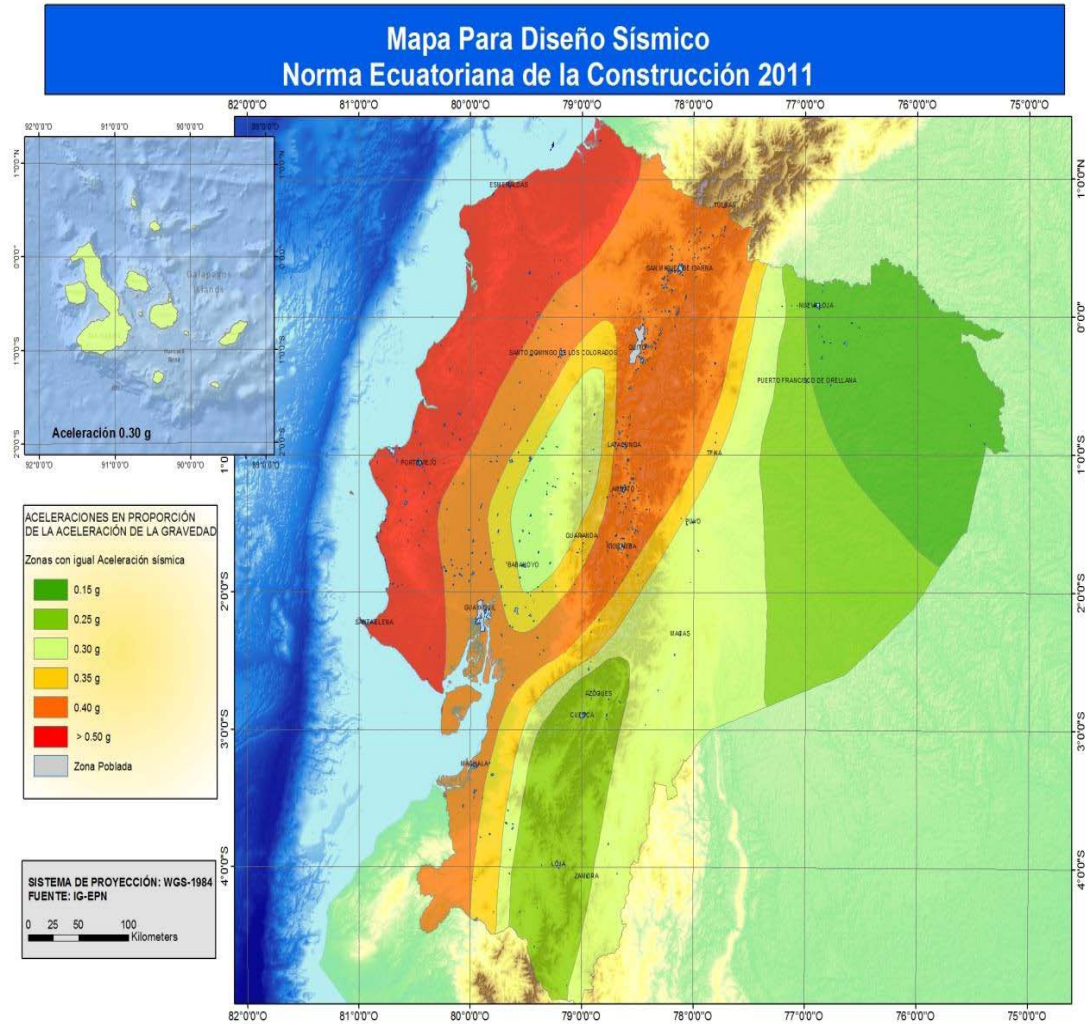


Figura 18. Ecuador, zonas sísmicas para propósitos de diseño y valor de factor de zona Z. (Norma Ecuatoriana de la Construcción NEC, 2011)

Debido a que es casi imposible predecir la magnitud, escala y frecuencia de los mismos, se considera emplear 20 registros reales de acelerogramas puesto que no todos los sismos se repiten, además los sismos considerados se han escalado 7 veces porque permiten conocer como se comportara las estructuras con diferente sismo; por tanto, para cada edificio se han aplicado un total de 140 sismos para el análisis.

La base de datos del Centro de Investigación de Ingeniería Sísmica del Pacífico (PEER *PacificEarthquakeEngineeringResearch Center*) se utiliza para obtener el registro de sismos reales ocurridos a nivel mundial, en la tabla 9 se puede observar en detalle las

propiedades de cada sismo seleccionado como el nombre del sismo, año, magnitud, velocidad de corte, distancia al epicentro y aceleración pico del suelo (PGA).

Tabla 9. Eventos correspondientes a registros seleccionados

No.	Sismo	Estación	Fecha	Magnitud	V_{s30} (m/s)	R_{epic} (km)	PGA (g)
1	Chi-Chi, Taiwan-06	CWB 99999 TCU125	1999	6.30	272.60	34.67	0,119
2	Superstition Hills-02	USGS 5061 Calipatria Fire Station	1987	6.54	205.80	31.62	0,2123
3	Morgan Hill	CDMG 58235 Saratoga WVC E Wall	1984	6.19	370.80	28.23	0,0461
4	Lazio-Abruzzo, Italy	ENEL 99999 Isernia-Sant'Agapito	1984	5.80	338.60	32.72	0,0683
5	N. Palm Springs	USGS 5157 Cranston Forest Station	1986	6.06	370.80	35.88	0,1571
6	Imperial Valley-06	USGS 5056 El Centro Array #1	1979	6.53	237.30	35.18	0,1418
7	Chalfant Valley-02	CDMG 54100 Benton	1986	6.19	271.40	31.25	0,1926
8	Sierra Madre	CDMG 24401 San Marino - SW Academy	1991	5.61	379.40	19.95	0,144
9	Coyote Lake	CDMG 47315 SJB Overpass, Bent 5 g.l.	1979	5.74	370.80	23.91	0,1003
10	Westmorland	USGS 5051 Parachute Test Site	1981	5.90	348.70	20.47	0,2193
11	Coalinga-01	CDMG 36456 Parkfield - Fault Zone 14	1983	6.36	338.50	38.54	0,2709
12	Whittier Narrows-01	USGS 697 Orange Co. Reservoir	1987	5.99	376.10	22.16	0,1956
13	Taiwan SMART1(25)	IES 60 SMART1 M06	1983	6.50	274.50	98.20	0,0283
14	Big Bear-01	CDMG 23583 Hesperia - 4th & Palm	1992	6.46	345.40	49.42	0,0705
15	Friuli, Italy-01	8004 Codroipo	1976	6.50	274.50	47.27	0,0753
16	Victoria, Mexico	UNAMUCSD 6621 Chihuahua	1980	6.33	274.50	36.67	0,1179
17	Griva, Greece	ITSAK 99999 Kilkis	1990	6.10	338.60	41.51	0,0425
18	Parkfield	CDMG 1015 Cholame - Shandon Array #8	1966	6.19	256.80	34.01	0,2645
19	Mammoth Lakes-01	54214 Long Valley Dam (Upr L Abut)	1980	6.06	345.40	12.65	0,3403
20	Dinar, Turkey	ERD 99999 Burdur	1995	6.40	338.60	39.57	0,0411

Fuente: Pacific Earthquake Engineering Research Center (PEER, 2013)

La Figura 15 corresponde a los acelerogramas de cada uno de los sismo seleccionados. Contiene la aceleración máxima, magnitud y distancia al epicentro.

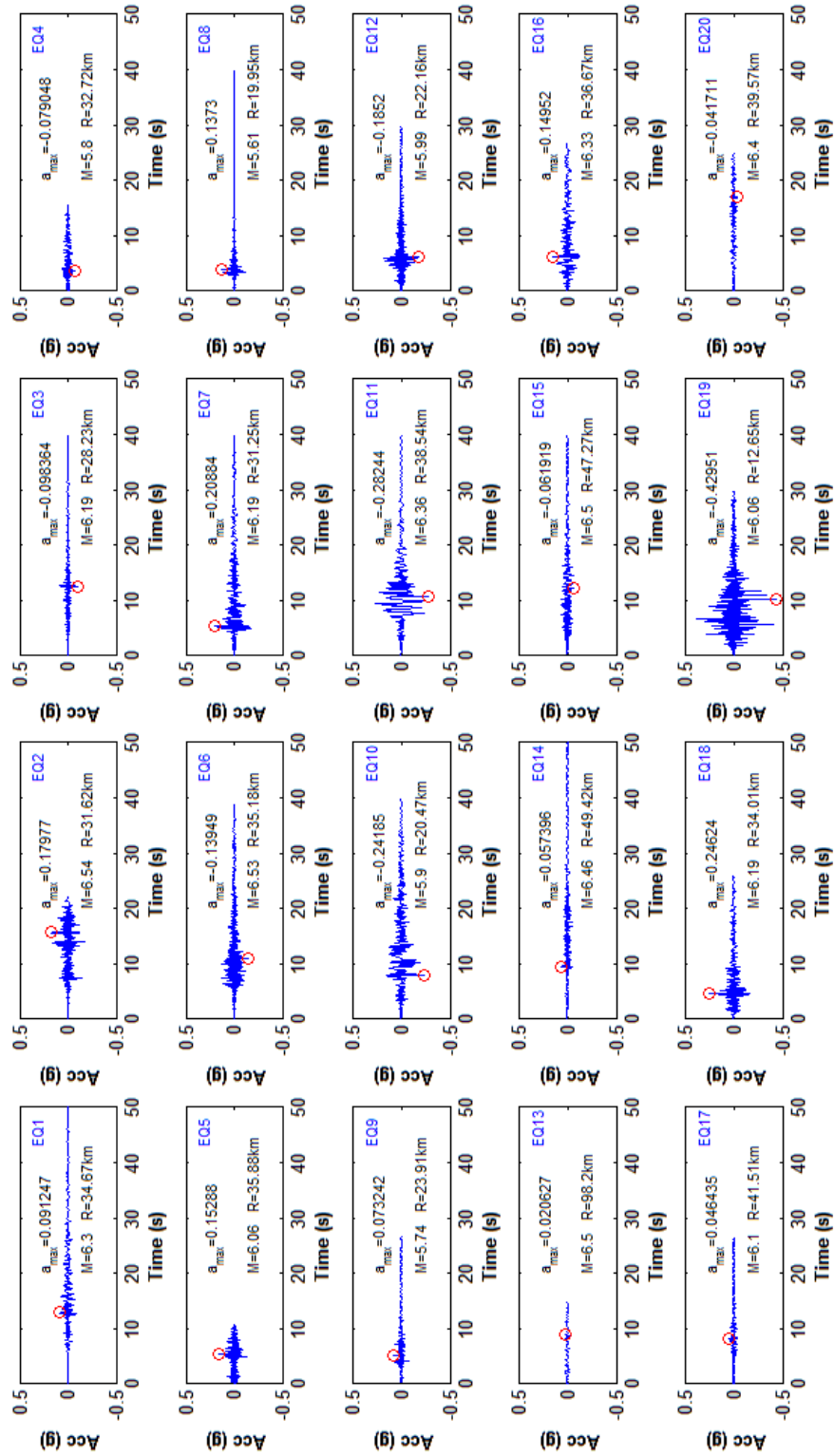


Figura 19. Acelerogramas correspondientes a los registros de eventos sísmico

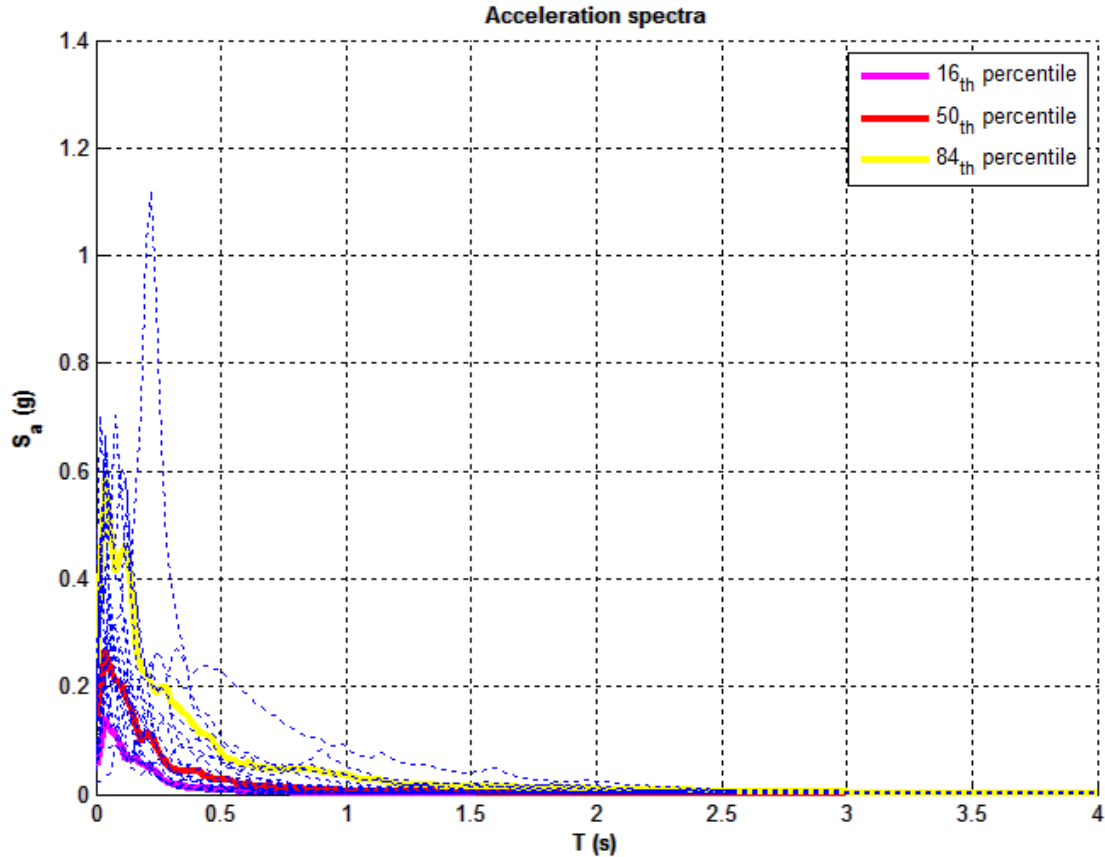


Figura 20. Espectros de respuesta de los 20 registros de eventos sísmicos.

4.2 Características generales de las tipologías.

En el apartado 3.2 se construyen los modelos tipo de los edificios esenciales. El modelo A2 ahora llamado también Edificio 1 consta de una estructura de 2 niveles superiores con altura entre losas de 3 metros y con 4 vanos de 5 metros. Comprende los ejes A, B, C, D, E en el eje X y 1, 2, 3 en el eje Y.

El modelo B1 ahora Edificio 2 consta de una estructura de 4 niveles superiores con altura entre losas de 3 metros y con 4 vanos de 5 metros. Comprende los ejes A, B, C, D, E en el eje X y 1, 2, 3, 4, 5 en el eje Y.

El modelo C3 ahora Edificio 3 consta de una estructura de 7 niveles superiores con altura entre losas de 3 metros y con 5 vanos de 5 metros. Comprende los ejes A, B, C, D, E, F en el eje X y 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8 en el eje Y.

4.3 Escalas del sismo

El análisis de banda múltiple (MSA) realiza varios análisis para diferentes niveles de aceleración espectral; cada banda corresponde a un análisis estructural para un conjunto de registros de eventos sísmicos escalados, de esta manera los intervalos son 0.2g, 0.4g, 0.6g, 0.8g, 1.0g, 1.2g y 1.5g adquiriendo 7 franjas para el análisis; es decir, se ejecuta un total de 6720 análisis.

4.4 Aplicación de sismos al modelo (Análisis Dinámico)

Para modelar la estructura se emplea el software OpenSees (*Open System for Earthquake Engineering Simulation*), una herramienta que ejecuta un análisis no lineal de historia en el tiempo debido a que posee un amplio rango de modelos de materiales, elementos y algoritmos de solución. OPENSEES, promovido por el *Pacific Earthquake Engineering Research Center* a través de la Fundación Nacional de Ciencia de los Estados Unidos, permite realizar análisis estático, dinámico, análisis pushover con lo cual permite obtener el periodo de los edificios, las derivas y los desplazamientos máximos.

4.5 Análisis de derivas.

Las máximas derivas se obtienen de la modelación de ejecutar los análisis para los sismos anteriormente escogidos y escalados; con la ayuda del software OpenSees y Octave.

Para cada edificación se determina la distribución log-normal de las derivas máximas utilizando los alores del logaritmo natural de la media y desviación estándar a partir de la ecuación (4.1).

$$y = \frac{1}{x\sigma\sqrt{2\pi}} e^{-\frac{(\ln x - \mu)^2}{2\sigma^2}} \quad (4.1)$$

Donde:

μ = Media

σ = Desviación estándar

e = Constante de Euler

La figura 16 se indica el análisis de banda múltiple (MSA) del Edificio 1 que comprende Viga de 50 cm x 30 cm y Columna de 25 cm x 25 cm, en donde las bandas de respuesta son conseguidas luego de aplicar una serie de registros escalados para varios niveles de aceleración espectral.

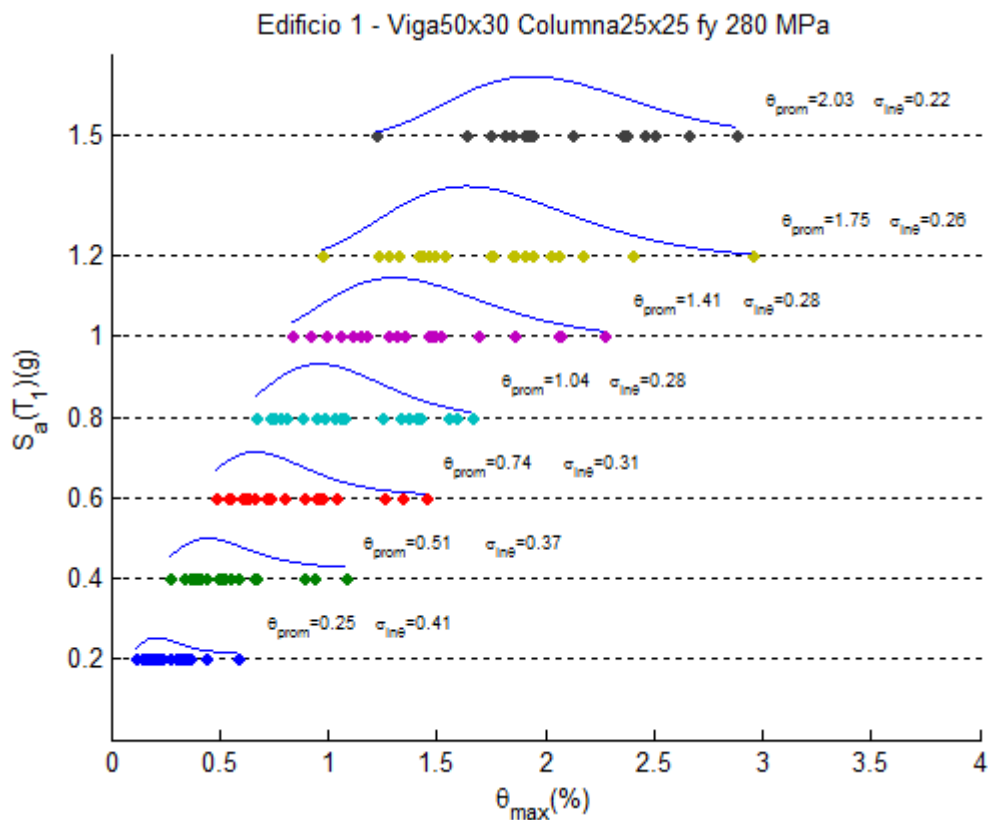


Figura 21. Derivas máximas del Edificio 1. Viga 50x30 Columna 25x25

En el anexo 3 se muestran las figuras de derivas máximas de piso para cada edificio: Edificio 1, Edificio 2 y Edificio 3.

4.6 Evaluación del daño

La probabilidad de daño se determina empleando los parámetros atípicos, aquellos cuya deriva máxima supera el límite establecido por la Norma Ecuatoriana de la Construcción que es del 2%, entonces la probabilidad de daño se obtiene de dividir el número de valores atípicos para cada valor de $S_a(T_i)$ para el número total de análisis.

4.7 Construcción de curvas de fragilidad

Para generar la curva de fragilidad, se varía la aceleración pico del terreno (PGA), sin modificar los otros parámetros del modelo. Luego se determinan las derivas máximas, esto nos permite calcular la probabilidad de daño.

Este procedimiento se repite para varias aceleraciones del terreno, generandola cantidad de puntos necesarios para dibujar la curva de fragilidad sísmica de ese modelo para el estado límite asociado a un nivel de daño.

Para determinar los puntos de fragilidad se emplea una función de probabilidad de densidad para la capacidad.

Una vez obtenidos los valores para cada banda se ajusta los puntos mediante una log-normal CDF (*Cumulative distribution function*)

Las curvas de fragilidad se obtienen determinando el valor medio de la aceleración horizontal del terreno y de la desviación estándar del logaritmo natural de la aceleración horizontal del terreno, asociado al estado de daño, mediante una función de distribución de probabilidades de tipo log-normal. Figura 17.

En el anexo 4 se indican las figuras de curvas de fragilidad para cada modelo.

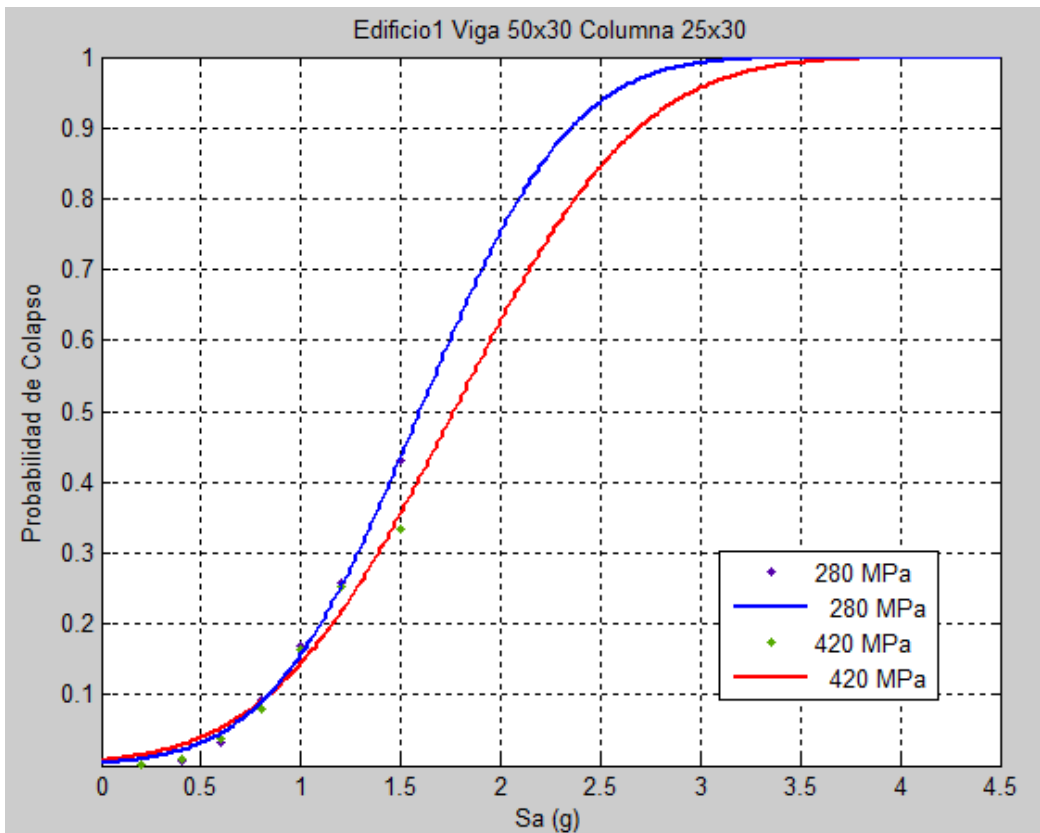


Figura 22. Curvas de fragilidad del Edificio 1 Viga 50x30 Columna 25x30 para la fluencia de 420 MPa y 280 MPa.

Las curvas de fragilidad permiten determinar probabilidades de daño a partir de la aceleración límite para la ciudad de Loja.

Los valores de la aceleración pico del terreno se indican en el mapa de peligro sísmico para Loja a nivel de suelo (figura 18), además se requieren las coordenadas GWS 84 (tabla 10) de cada edificación esencial para determinar el PGA y ese valor leer en la gráfica de curvas de fragilidad, la probabilidad de daño.

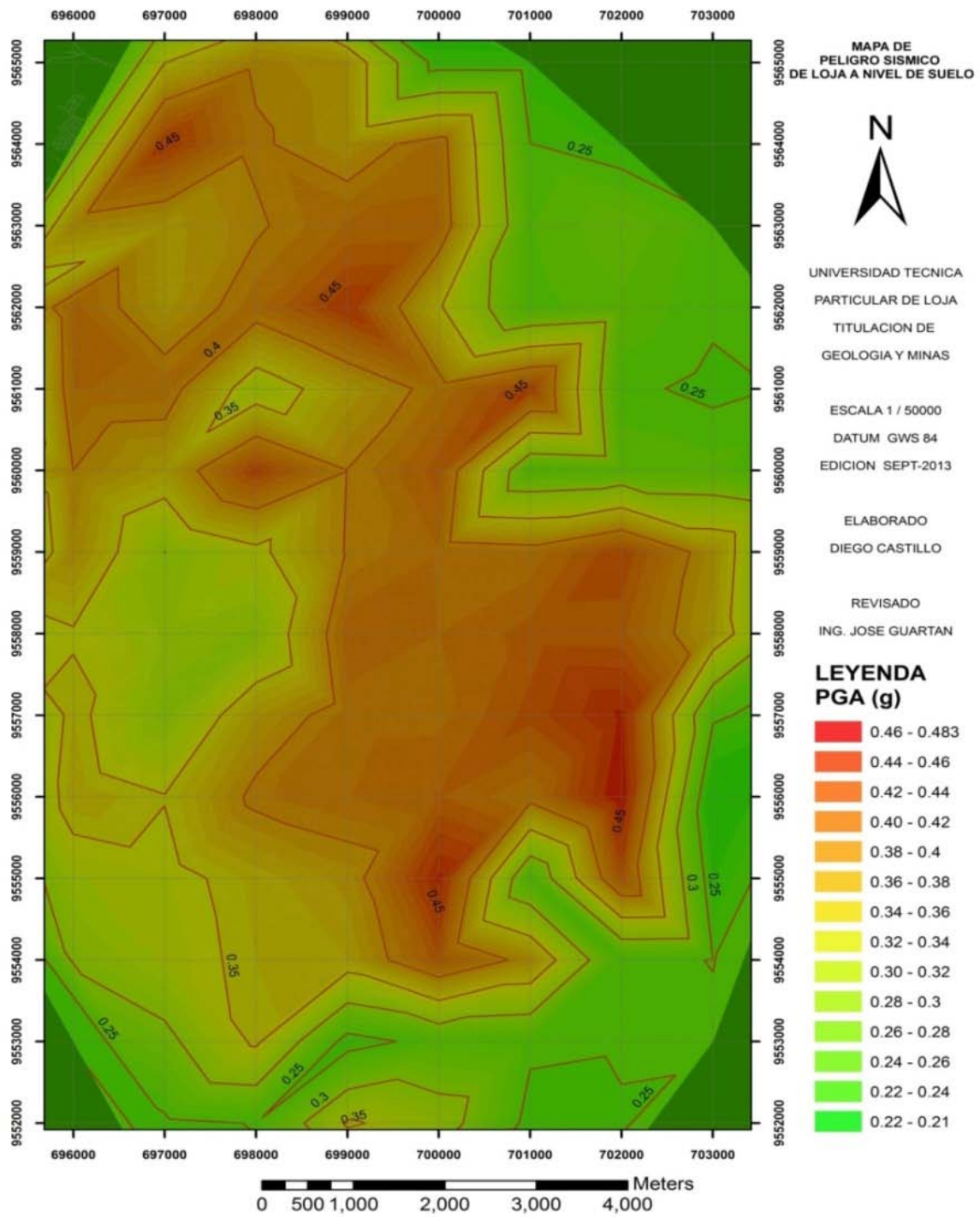


Figura 23. Mapa de Peligro Sísmico para Loja a nivel de suelo (Castillo, 2013)

Tabla 10. Coordenadas GWS 84 para determinar el valor PGA de los edificios.

No.	Descripción	COORDENADAS GWS 84		PGA del edificio
		x	y	
1	Centro de Salud Nº 1	699567	9559072	0,40
2	Centro de Salud Nº 2	699730	9559802	0,46
3	Hospital Militar	699908	9558568	0,42
4	Loja Radio Club	699595	9560683	0,42
5	Gobernación de la Provincia de Loja	699915	9558354	0,40
6	Bomberos Inmaculada	699442	9561405	0,42
7	Bomberos Punzara	698402	9555197	0,38
8	Policía	699291	9556979	0,42
9	Mercado Gran Colombia	699721	9559373	0,44
10	Mercado Central	699661	9558248	0,40
11	Mercado San Sebastian	699978	9557763	0,38
12	Escuela Miguel Riofrío	700112	9557907	0,38
13	Colegio Bernardo Valdivieso	700073	9556888	0,44
14	Colegio 27 de Febrero	699528	9556425	0,40
15	Escuela IV Centenario	699447	9558177	0,38
16	Colegio Adolfo Valarezo	699138	9558822	0,38
17	Escuela Julio Ordoñez	699538	9559016	0,38
18	Conservatorio Salvador Bustamante Celi	699845	9560724	0,40
19	Escuela Lauro Damerval Ayora	699411	9556534	0,38
20	Escuela Alonzo de Mercadillo	699541	9557132	0,36
21	Colegio Pio Jaramillo Alvarado	699922	9557642	0,46
22	Escuela Municipal Héroes del Cenepa	700390	9556672	0,46
23	Colegio Santa Mariana de Jesús	700093	9558174	0,44
24	Colegio La Salle	700585	9558270	0,46
25	Hospital Regional Isidro Ayora	699397	9558615	0,38
26	CNT (Pacifictel)	699605	9557667	0,36
27	Municipio de Loja	699885	9558428	0,44
28	Gobierno Provincial de Loja	699946	9558427	0,4
29	Corte de Justicia	699763	9558522	0,36
30	Contraloría General del Estado	699757	9558424	0,36
31	Cruz Roja	699513	9558715	0,44
32	Bomberos Centro	699553	9558314	0,36
33	Colegio Manuel Cabrera Lozano	699622	9554243	0,32
34	Colegio Beatriz Cueva de Ayora	700365	9558454	0,46
35	Universidad Técnica Particular de Loja	700305	9559352	0,34
36	Universidad Nacional de Loja	699621	9554241	0,32
37	Centro de Salud Nº 3	700266	9557562	0,36
38	Hospital del Seguro Social	699705	9559206	0,36
39	Solca	699931	9561051	0,34
40	Senplades	699905	9559750	0,44
41	Miduvi	699964	9558370	0,44
42	Fiscalía	699771	9558176	0,42
43	Edificio Gran Colombiano	699668	9558152	0,44

Fuente:Elaboración propia de la autora.

A partir de la PGA se lee en la curva de fragilidad para cada modelo considerado tipo y que posea similares propiedades geométricas, se obtiene los valores de aceleración pico del terreno, indicadas en la tabla 10.

Una vez encontrada la PGA, se obtiene la probabilidad de daño de cada edificación a partir de la lectura; por tanto se usa como dato de entrada la aceleración pico del terreno (PGA) que son los valores en el eje de las abscisas y se observa la probabilidad de daño en el eje de las ordenadas.

De esta manera, en la tabla 11 se indican los valores obtenidos de probabilidad de daño; se observa el porcentaje de probabilidad de daño del edificio como se indica anteriormente; y los porcentajes de probabilidad de daño cuando el valor de PGA es 0.25g que es aceleración pico en roca donde supone el mismo tipo de suelo en toda la ciudad de Loja. Las probabilidades de daños son en porcentaje.

Tabla 11. Cuadro de probabilidad de daño de las edificaciones esenciales

No.	Descripción	COORDENADAS GWS 84		Probabilidad de daño PGA Edificio	Probabilidad de daño PGA = 0,25
		x	y		
1	Centro de Salud Nº 1	699567	9559072	22,91	21,25
2	Centro de Salud Nº 2	699730	9559802	25,14	23,33
3	Hospital Militar	699908	9558568	19,20	35,22
4	Loja Radio Club	699595	9560683	25,02	22,12
5	Gobernación de la Provincia de Loja	699915	9558354	30,72	26,44
6	Bomberos Inmaculada	699442	9561405	21,83	27,35
7	Bomberos Punzara	698402	9555197	19,45	25,49
8	Policía	699291	9556979	21,09	32,75
9	Mercado Gran Colombia	699721	9559373	25,11	34,52
10	Mercado Central	699661	9558248	25,12	46,43
11	Mercado San Sebastian	699978	9557763	19,96	26,32
12	Escuela Miguel Riofrío	700112	9557907	39,87	32,17
13	Colegio Bernardo Valdivieso	700073	9556888	49,66	29,89
14	Colegio 27 de Febrero	699528	9556425	37,58	31,90
15	Escuela IV Centenario	699447	9558177	25,25	37,66
16	Colegio Adolfo Valarezo	699138	9558822	35,68	97,45
17	Escuela Julio Ordoñez	699538	9559016	30,18	44,34
18	Conservatorio Salvador Bustamante Celi	699845	9560724	39,99	29,89
19	Escuela Lauro Damerval Ayora	699411	9556534	35,56	34,99
20	Escuela Alonzo de Mercadillo	699541	9557132	20,17	30,65
21	Colegio Pio Jaramillo Alvarado	699922	9557642	49,59	31,56
22	Escuela Municipal Héroes del Cenepa	700390	9556672	44,35	26,75
23	Colegio Santa Mariana de Jesús	700093	9558174	48,91	34,67
24	Colegio La Salle	700585	9558270	50,04	34,78
25	Hospital Regional Isidro Ayora	699397	9558615	24,78	16,39
26	CNT (Pacifictel)	699605	9557667	24,76	25,05
27	Municipio de Loja	699885	9558428	51,67	22,43
28	Gobierno Provincial de Loja	699946	9558427	35,98	24,92
29	Corte de Justicia	699763	9558522	35,11	21,23
30	Contraloría General del Estado	699757	9558424	33,56	24,77
31	Cruz Roja	699513	9558715	62,81	21,78
32	Bomberos Centro	699553	9558314	30,93	22,24
33	Colegio Manuel Cabrera Lozano	699622	9554243	25,06	20,59
34	Colegio Beatriz Cueva de Ayora	700365	9558454	45,88	35,44
35	Universidad Técnica Particular de Loja	700305	9559352	22,24	21,82
36	Universidad Nacional de Loja	699621	9554241	26,83	21,67
37	Centro de Salud Nº 3	700266	9557562	62,84	14,59
38	Hospital del Seguro Social	699705	9559206	14,65	20,45
39	Solca	699931	9561051	25,43	16,59
40	Senplades	699905	9559750	55,01	21,81
41	Miduvi	699964	9558370	52,89	20,67
42	Fiscalía	699771	9558176	52,40	27,49
43	Edificio Gran Colombiano	699668	9558152	39,41	35,23

Fuente.Elaboración propia de la autora.

4.8 Resultados

El mapa de vulnerabilidad sísmica de la ciudad de Loja se ha determinado mediante los resultados obtenidos a partir de las curvas de fragilidad y de los valores de la aceleración pico del suelo, que proporciona la probabilidad de daño.

Las figuras 18 y 19, indican los mapas de ubicación de los edificios esenciales de la ciudad de Loja, los cuales permiten diferenciar las zonas de estudio.

Las figuras 20, 21 y 22 indican los mapas temáticos para la ubicación de los edificios esenciales, los valores de probabilidad de daño a partir de la información del edificio (aceleración pico del suelo) en función del supuesto de que la ciudad de Loja posee un único valor de $PGA= 0.25 \text{ g}$ (es decir sin considerar efectos de sitio).

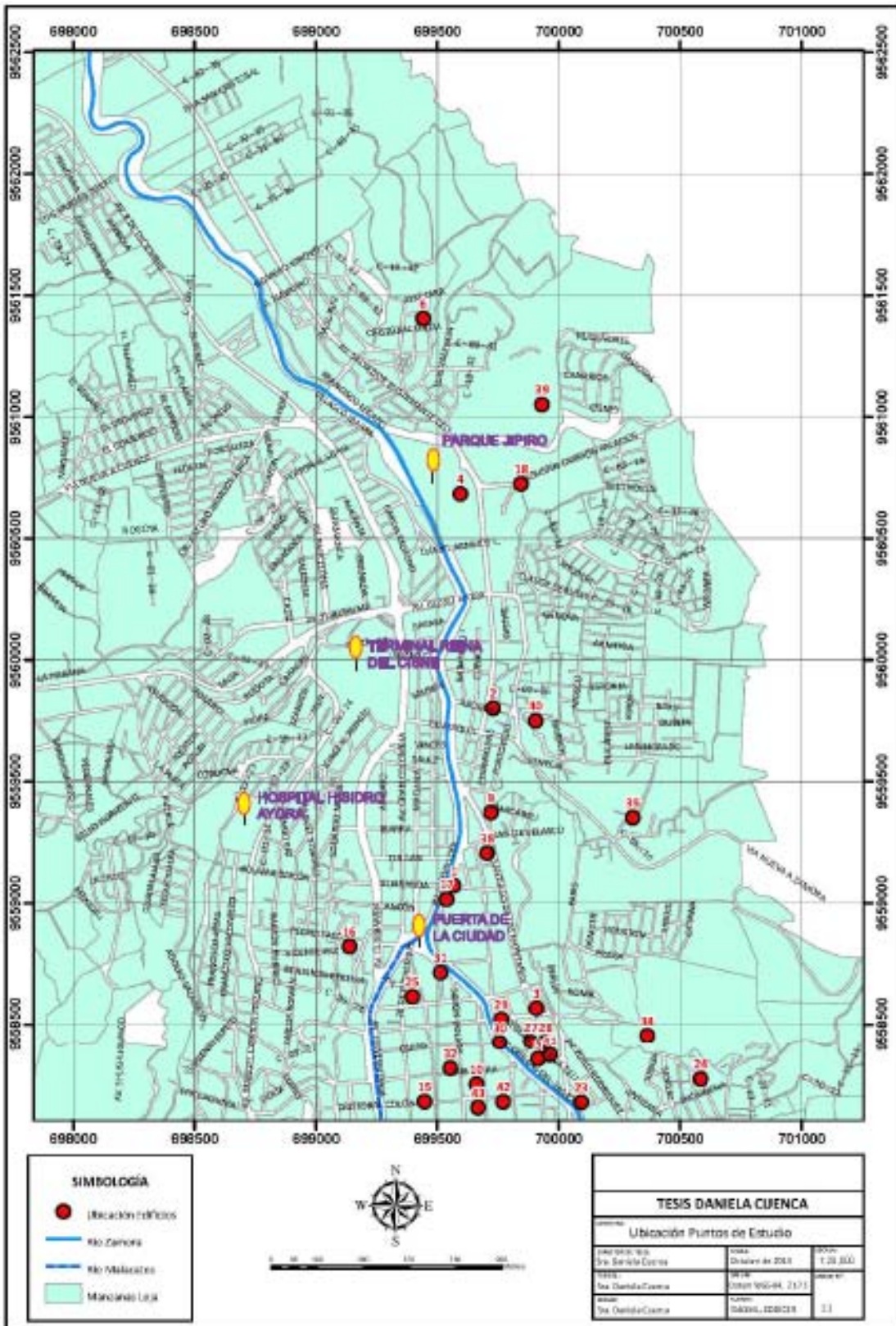


Figura24. Mapa de ubicación de edificios esenciales de la ciudad de Loja.

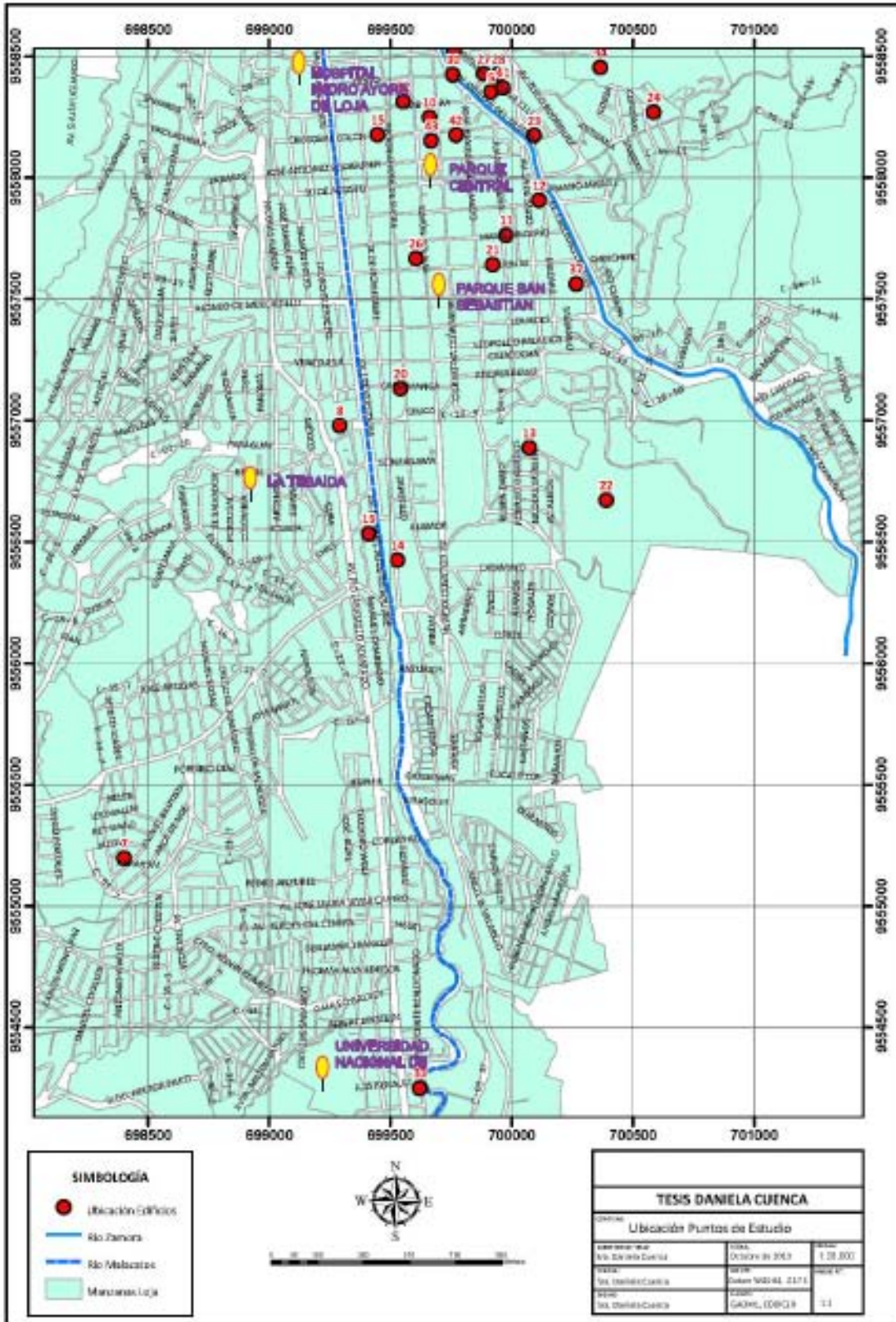


Figura25. Mapa de ubicación de edificios esenciales de la ciudad de Loja.

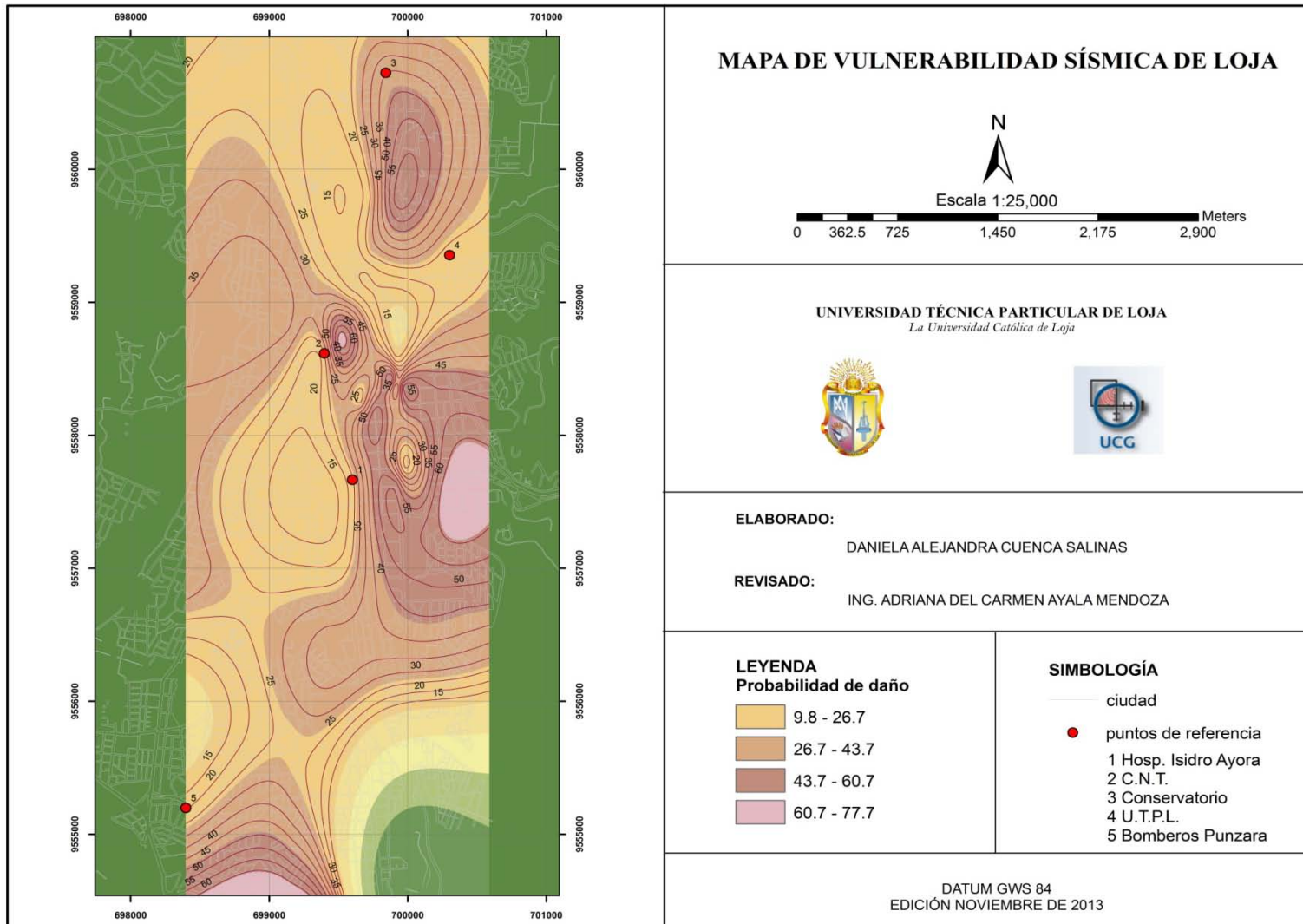


Figura26. Mapa de vulnerabilidad sísmica de la ciudad de Loja para valores de PGA correspondientes a las edificaciones.

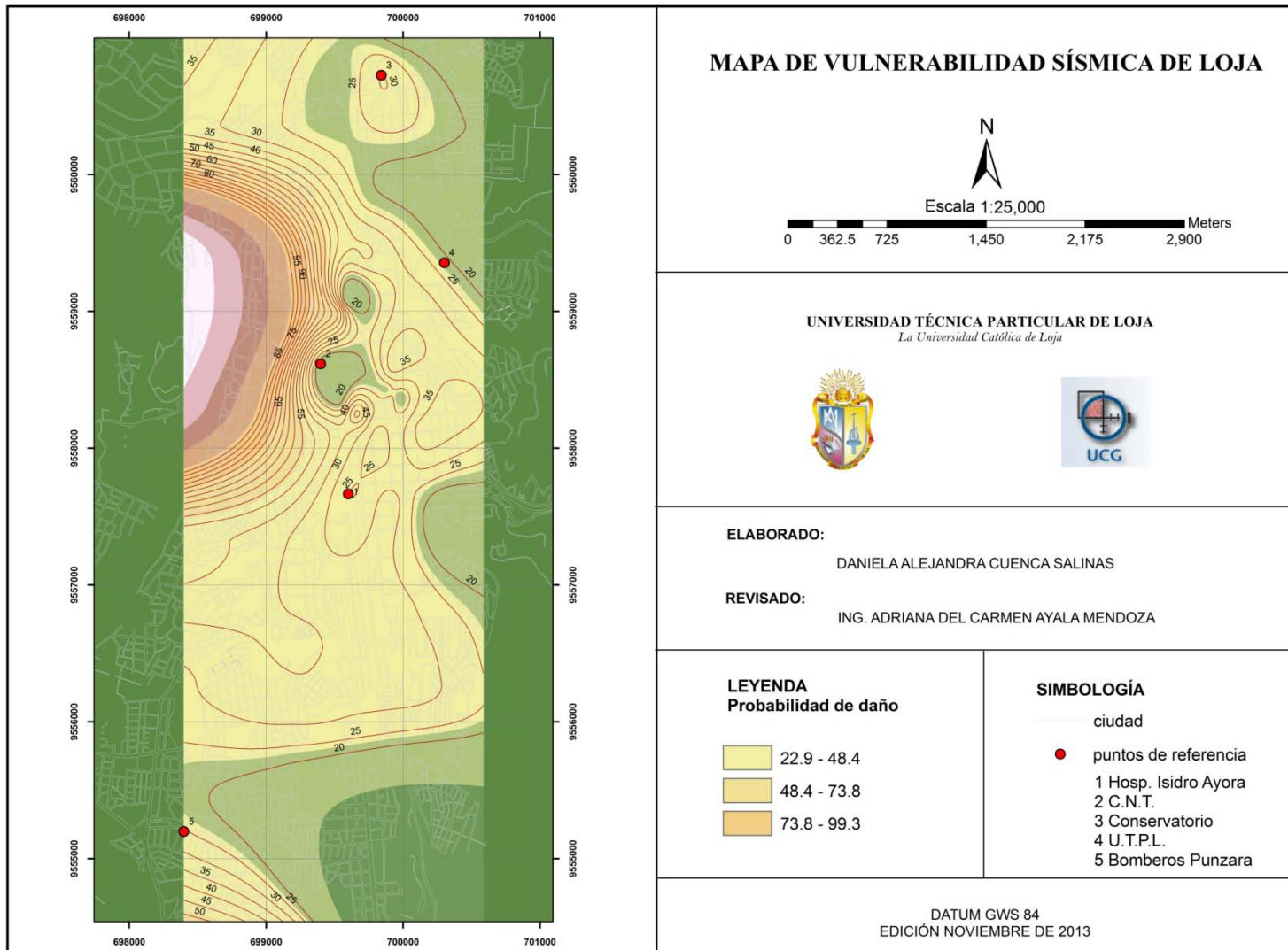


Figura 27. Mapa de vulnerabilidad sísmica de la ciudad de Loja para valores de $PGA = 0.25g$

CAPÍTULO V
CONCLUSIONES, RECOMENDACIONES Y BIBLIOGRAFÍA

CONCLUSIONES

- Del estudio realizado en la ciudad de Loja se concluye que las edificaciones más vulnerables son las siguientes:

Tabla 12. Resultados de vulnerabilidad sísmica de la ciudad de Loja.

No.	Descripción	COORDENADAS GWS 84		Probabilidad de daño PGA Edificio	Probabilidad de daño PGA = 0,25
		x	y		
13	Colegio Bernardo Valdivieso	700073	9556888	49,66	29,89
16	Colegio Adolfo Valarezo	699138	9558822	35,68	97,45
21	Colegio Pio Jaramillo Alvarado	699922	9557642	49,59	31,56
22	Escuela Municipal Héroes del Cenepa	700390	9556672	44,35	26,75
23	Colegio Santa Mariana de Jesús	700093	9558174	48,91	34,67
24	Colegio La Salle	700585	9558270	50,04	34,78
27	Municipio de Loja	699885	9558428	51,67	22,43
31	Cruz Roja	699513	9558715	62,81	21,78
34	Colegio Beatriz Cueva de Ayora	700365	9558454	45,88	35,44
37	Centro de Salud N° 3	700266	9557562	62,84	14,59
40	Senplades	699905	9559750	55,01	21,81
41	Miduvi	699964	9558370	52,89	20,67
42	Fiscalia	699771	9558176	52,40	27,49
43	Edificio Gran Colombiano	699668	9558152	39,41	35,23

Fuente: Elaboración propia del autor.

- Considerando efectos de sitios para cada edificio analizado se observa que la zona oriental de la ciudad de Loja, posee un porcentaje estimado de 43.7% al 60.7% de probabilidad de daño, según el mapa de vulnerabilidad de la figura 20.

- En los casos cuando se realiza el análisis para $PGA = 0.25g$ (sin considerar efectos de sitio), la zona de mayor vulnerabilidad se ubica en el sector occidental, específicamente en áreas cercanas al Colegio Adolfo Valarezo con una probabilidad de daño de 97.45%.

- Para el mismo caso del Colegio Adolfo Valarezo, en el mapa de vulnerabilidad sísmica cuando se considera los efectos de sitio tenemos una probabilidad de daño de 35,68%, lo que demuestra que el tipo de suelo ayuda de sobremanera a resistir las cargas sísmicas que intervienen en el terreno.

- Del total de edificios analizados, 20 no poseen diseño sismorresistente debido a que fueron construidas anterior a la primera normativa de diseño sismorresistente.
- De los mapas de vulnerabilidad se estima un área aproximada de vulnerabilidad sísmica de la ciudad de Loja de acuerdo a la leyenda que poseen cada uno, por ejemplo: para probabilidad de daño de 9.8% a 26.7% tiene un área de 1100 hectáreas; de 26.7% a 43.7% tiene un área de 700 hectáreas; de 43.7% a 60.7% tiene un área de 350 hectáreas y 60.7% a 77.7% tiene un área de 50 hectáreas, lo cual permite concluir que una pequeña parte de la ciudad de Loja que presenta probabilidades de daño elevadas.
- La zona central de la ciudad de Loja indica valores mínimos de probabilidad de daño pues los valores oscilan entre 9.8% y 26.7%. Mientras que, las zonas periféricas existe mayor índice de probabilidad de daño conforme a las curvas de vulnerabilidad de los mapas anteriores.

RECOMENDACIONES

- Para un análisis más detallado de cada zona de la ciudad de Loja, es necesario contar con mayor cantidad de datos reales que permita obtener valores confiables, a partir de la información de los edificios en su geometría y propiedades de los materiales.
- Los ensayos en los materiales aportarían en gran medida puesto que obtendríamos valores de fluencia de acero y resistencia compresión del concreto efectivo para una mejor evaluación.
- En el caso de la ciudad de Loja, no se cuentan con datos sísmicos, ni con información experimental, por lo que se debe superar las deficiencias en la información.
- Se requiere mayor número de edificaciones en la muestra ya que esto nos permite interpolar las zonas con mayor exactitud, y a su vez, obtener curvas más representativas de cada sector.

- La investigación realizada permite dar información importante para futuros estudios sobre riesgo sísmico de la ciudad de Loja.

BIBLIOGRAFÍA

- Alonso, J. (2007). *Vulnerabilidad Sísmica de Edificaciones*. Primera edición, SIDETUR, Caracas, Venezuela.
- Arango, S. Paz, A. Duque, Ma. P. (2009). *Propuesta Metodológica para la Evaluación del Desempeño Estructural de una Estantería Metálica*. Revista EIA Escuela de Ingeniería Antioq No.12. Colombia.
- Barbat, A.H. (1998). *El riesgo sísmico en el diseño de edificios*. Calidad siderúrgica, S.R.L.
- Castillo, D. (2013). *Peligro sísmico de la Cuenca de Loja*. Universidad Técnica Particular de Loja. Trabajo de Fin de Titulación. Loja, Ecuador.
- Centro de Sismología (2012). *Intensidad y magnitud. Intensidad y magnitud de los sismos*. Universidad de Oriente. Estado Sucre, Venezuela.
- CEPA-COSLADA. (2003). *La energía interna de la Tierra*. Recuperado el 18 de Septiembre de 2013, de <http://www.educa.madrid.org/web/cepa.coslada/nat/nivel-l/temas/03-1-internal%20energy.pdf>
- Christopoulos, C. Filiatrault, A. (2006). *Principles of passive supplemental damping and seismic isolation*. I.U.S.S. Istituto Universitario di Studi Superiori di Pavia. Pavia, Italy
- Corsanego, A., y Petrini, V. (1990). *Seismic vulnerability of buildings*. Proceedings of the SEISMED 3, Trieste, Italy.
- Corsanego, A. (1995). *Recent trends in the field of earthquake damage interpretation*. Proceeding of the 10th European Conference on Earthquake Engineering, Duma.
- Devore, J. L. (2008). *Probabilidad y Estadística para Ingenierías y Ciencias*. México D.F.: CENGAGE Learning.
- EERI (1994). *Expected seismic performance of buildings*. Technical Report, Publication Number SP-10, Earthquake Engineering Research Institute, Oakland CA.
- Egred, J. (2009). *Terremotos del Ecuador*. Escuela Politécnica Nacional. Instituto Geofísico. Quito, Ecuador.

- González, R. Bairán, J. (2010). *Curvas de fragilidad para evaluar el daño sísmico en edificios de concreto armado con losas reticulares*. Universidad Politécnica de Cataluña. Escuela de Ingeniería de Caminos, Canales y Puertos, Barcelona, España.
- Jalayer, F. (2003). *Direct Probabilistic Seismic Anaysis: Implementing Non-Linear Dynamic Assessments*. Stanford: Stanford University.
- Johnson, R. (1997). *Probabilidad y estadística para ingenieros de Miller y Freund*. Quinta edición. Prentice- Hall, Hispanoamérica S.A. México.
- Lantada, Z. Ma. Nieves. (2007). *Evaluación del Riesgo Sísmico Mediante Métodos Avanzados y Técnicas GIS. Aplicación a la Ciudad de Barcelona*. Tesis doctoral. Universitat Politècnica de Catalunya. Barcelona, España.
- Ministerio de Fomento. Centro de Estudios y Experimentación de Obras Públicas CEDEX(2005). *Informe Sobre Estudio Y Desarrollo De Metodologías Para La Estimación De La Vulnerabilidad De Construcciones Frente A Solicitaciones Sísmicas Y De Inspección De Edificaciones Afectadas Por Terremotos*. Tomo único. Madrid.
- NEC (2011). *Peligro Sísmico y Requisitos de Diseño Sismo Resistente*. Decreto Ejecutivo N° 705 del 06 de abril de 2011.
- Porrero, J. Ramos, C, Grases, J y Velazco G. (2004). *Manual del Concreto Estructural conforme con la norma COVENIN 1753:03*. Primera edición, SIDETUR, Caracas, Venezuela.
- Real Academia Española (2009). *Definición de terremoto*. Vigésimo tercera edición. España.
- Rojas G., Romme (2010). *Curvas de Fragilidad Sísmica para Edificios Aporticados de Concreto Reforzado de Poca Altura*. Universidad Central de Venezuela. Trabajo especial de grado. Caracas.
- Segovia M. (2012), *Informe Sísmico para el Ecuador Año 2011*, Instituto Geofísico– Escuela Politécnica Nacional, Quito – Ecuador.
- Soper, D. (2012). *Cumulative Distribution Function (CDF) Calculator for the Normal Distribution (Online Software)*. Recuperado el 20 de Septiembre de 2013, de <http://www.danielsoper.com/statcalc3>
- Universidad de Alicante (2011). *Peligrosidad Sísmica*. Unidad de Registro Sísmico. Departamento de Ciencias de la Tierra y del Medio Ambiente. San Vicente del

Raspeig

Alicante, España.

- USGS(2013). *FAQ-Measuring Earthquakes*. U.S. Geological Survey. Department of the Interior Recovery Investments. Page Last Modified: Monday, May 13. United States of America.
- Velásquez V., José Martín (2006). *Estimación de pérdidas por sismo en edificios peruanos mediante Curvas de Fragilidad analíticas*. Pontificia Universidad Católica del Perú, Escuela de Graduados. Lima, Perú.
- Velásquez, José. Blondet, Marcial (2009). *Estimación de Pérdidas Sísmicas Mediante Curvas de Fragilidad Analíticas*. Pontificia Universidad Católica del Perú. Congreso Internacional Lima. Lima, Perú.
- Zahran, Rami. (2003). *Predicción de la Capacidad Límite Última de Disipación de Energía de Estructuras Porticadas con Vigas Planas Existentes*. Universidad de Granada, Departamento de Mecánica de Estructuras e Ingeniería Hidráulica. Tesis Doctoral. Granada.

ANEXOS

ANEXO 1.A

ENCUESTA PARA LA CLASIFICACIÓN DE LAS EDIFICACIONES ESENCIALES

Proyecto:

Cuestionario No.

Nombre del Centro: _____

Nombre _____ del

Encuestado: _____

Cargo: _____ Teléfono: _____ Fax: _____

E-mail: _____

Indicé medio de ocupación: menos 60% _____ 60-70% _____ 70-80% _____
80-90%: _____ Más del 90%: _____

Cuenta el Edificio con algún plan de emergencia: Si _____ No _____

En caso afirmativo, especifique el tipo de plan:

General: _____ Específico: _____

Para atención de masas _____ Para caso de sismo: _____

Preparación del personal sobre cómo actuar antes, durante y después de un sismo:

Buena _____ Regular _____ Nula _____

Se han realizado simulacros de atención en caso de sismos: Si _____ No _____

Descripción de las edificaciones y su ubicación (para la edificación principal)

Número de pisos o plantas: _____

Altura (mts) de Planta Baja: _____ Altura media de otros Pisos: _____ Altura total: _____

Dimensiones de plantas del edificio principal (mts): Longitud: _____ Transversal: _____

Fecha (año) de:

Proyecto: _____ Construcción: _____ Ampliación: _____ Remodelación: _____

Tiene sótanos: Si: _____ No: _____ Cuantos: _____

Tiene modulo independiente; Si: _____ No: _____ Cuantos: _____

Juntas de separación entre módulos: Si: _____ No: _____ Dimensiones (cm): _____

Tipo de estructura vertical o principal:

Pilares o columnas: _____ Muros o paredes de carga: _____

Sin viga: _____ Con vigas: Profundas (salientes de la losa): _____

Planas o embebidas: _____

Materiales de construcción	de	Hormigón	Mampostería	Metálico	Otros
Estructura vertical o principal					
Losas o entresijos					
Escaleras					

Características del terreno y ubicación del centro:

Terreno plano: _____ Pendiente: menor 10%: _____ 10-30% _____ más de 30%: _____

Tipo de terreno: Rocoso: _____ Suelo consolidado: _____ Suelo suelto: _____

Ubicación: Adosado a otros edificios: _____ Diseminado o aislado: _____

Otra información y observación de interés:

Estado de conservación: Bueno _____ Regular: _____ Deficiente: _____

Existencia de planos del centro: Si _____ No _____

ANEXO 1.B

Descripción e información de la vivienda	Nombre de la vivienda		Código:				Observaciones
	Dirección y ubicación						
	Dueño o usuario de la vivienda		Dirección:				
			Nombre:		Teléfono:		
	Uso de la vivienda		Oficina ()	Residencial ()	Departamento ()	Otros ()	
			Fabrica ()	Bodega ()	Tienda ()		
	Tipo de construcción		Compuesta acero-concreto ()		Bareque-tapia ()		
			Mampostería ()	Adobe ()	Hormigón armado ()		
	Sistema estructural		Marcos resistentes a momento ()		Muros estructurales ()		
			Otros ()				
	Número de niveles		N° Pisos (incluyendo azoteas y mezanines):			Sótano ()	
			Planta				
	Dimensiones		N° Piso:		Dimensiones: ____ m * ____ m		
			N° Piso:		Dimensiones: ____ m * ____ m		
			N° Piso:		Dimensiones: ____ m * ____ m		
N° Piso:			Dimensiones: ____ m * ____ m				
N° Piso:			Dimensiones: ____ m * ____ m				
N° Piso:			Dimensiones: ____ m * ____ m				
Configuración del suelo y terreno		Plano ()	Inclinado ()	Altiplano ()	Hondonada ()		
Configuración del suelo en la vecindad		Río / Lago / Quebrada a: ____ m					
Materiales de acabado exterior		Mortero()	Cerámica ()				
		Otros()					

Figura 23. Encuesta realizada en los edificios esenciales

ANEXO 2.A

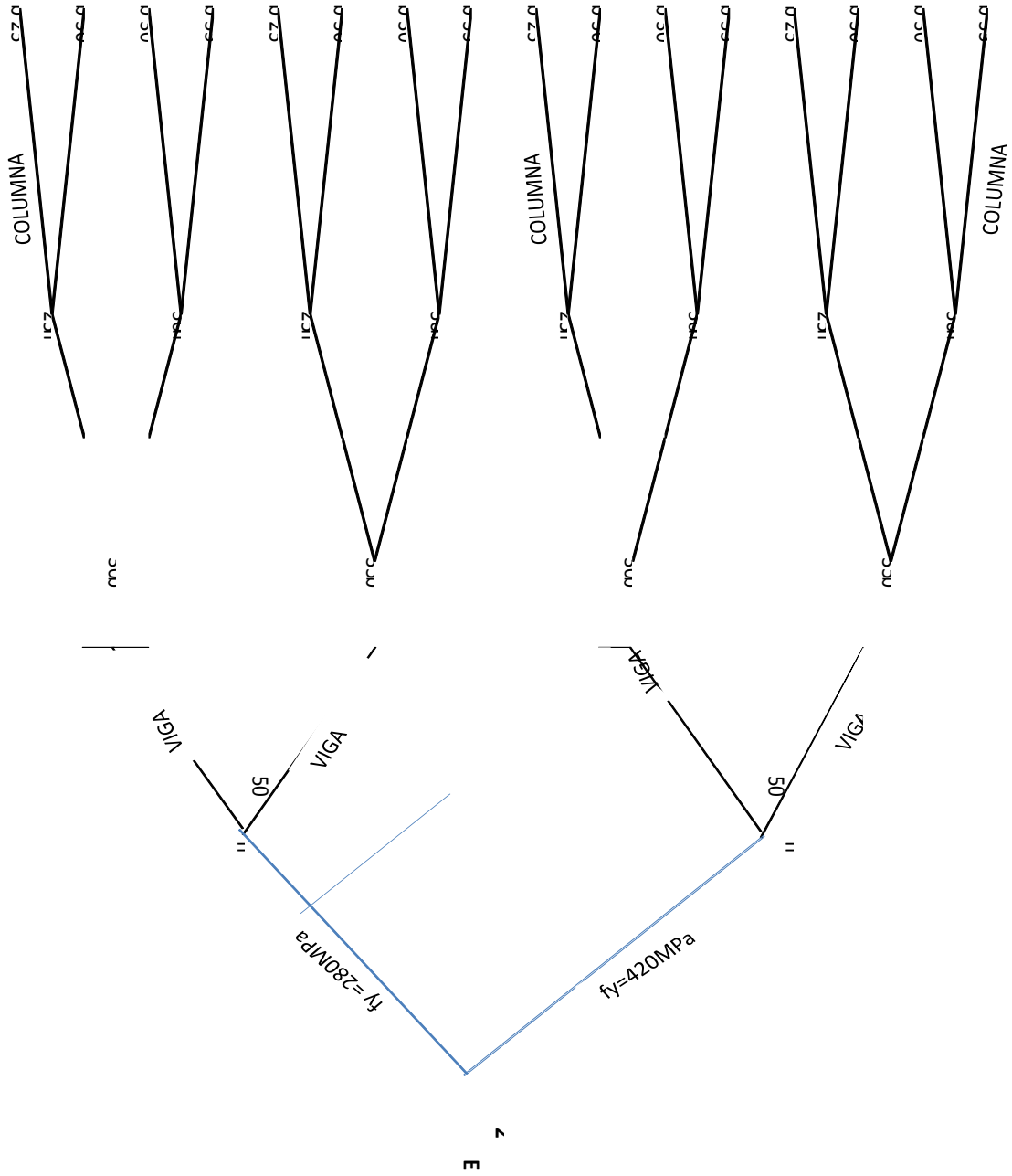


Figura 24.Árbol lógico para cada tipología y límite de fluencia del acero. EDIFICIO 2

ANEXO 2.B

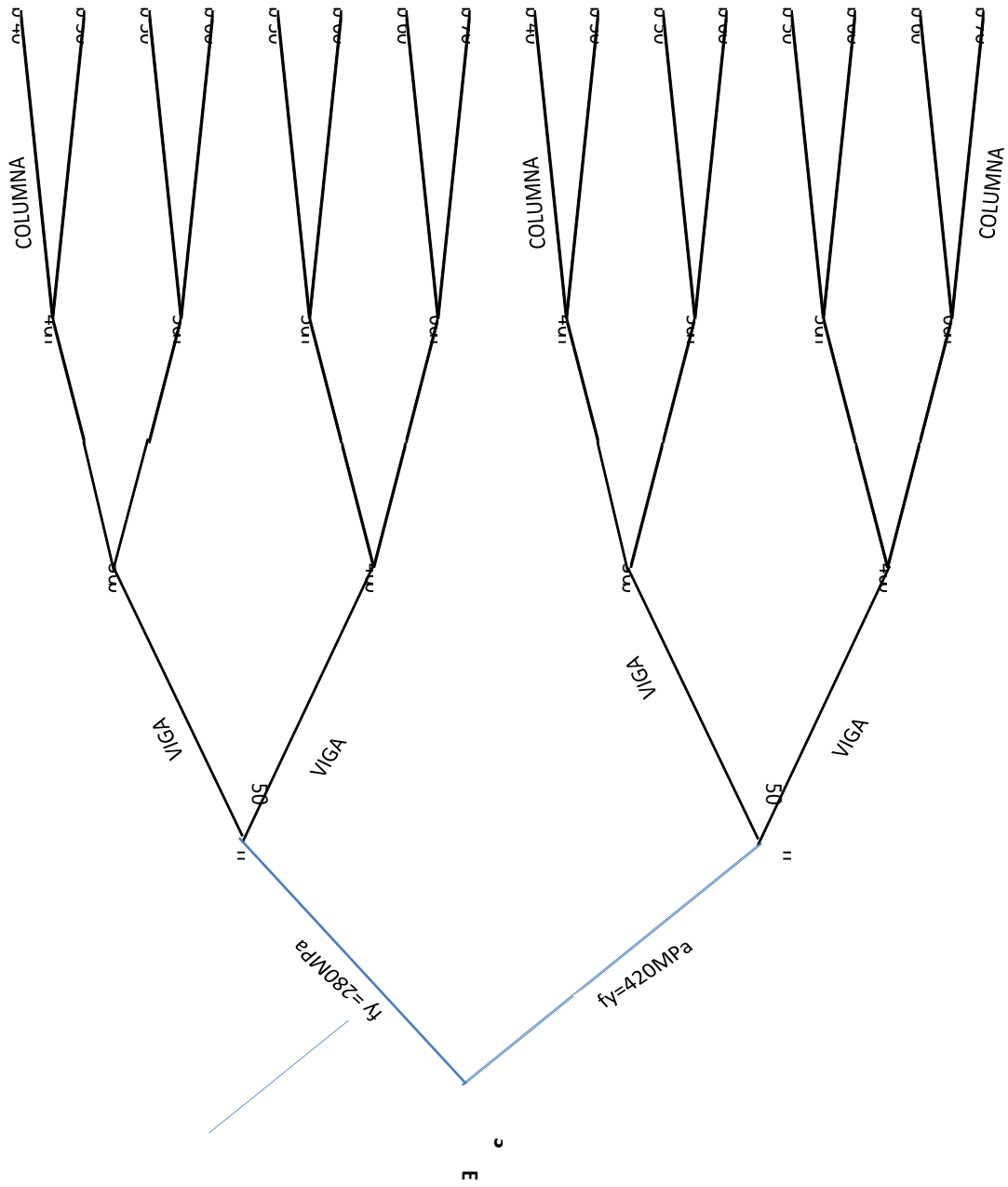
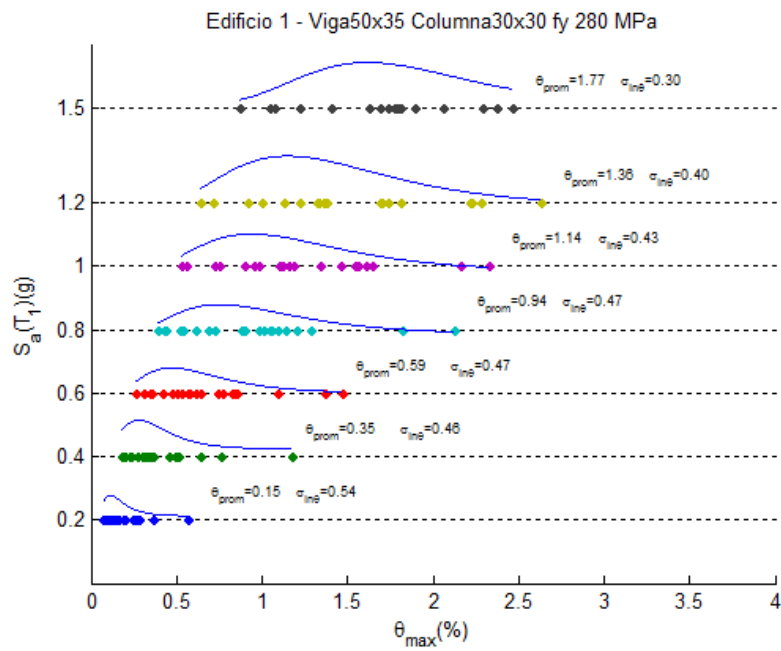
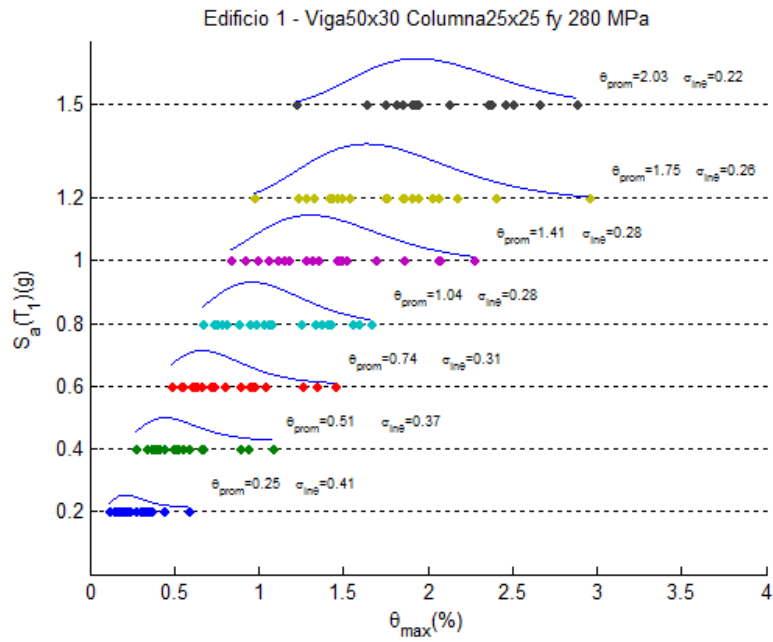
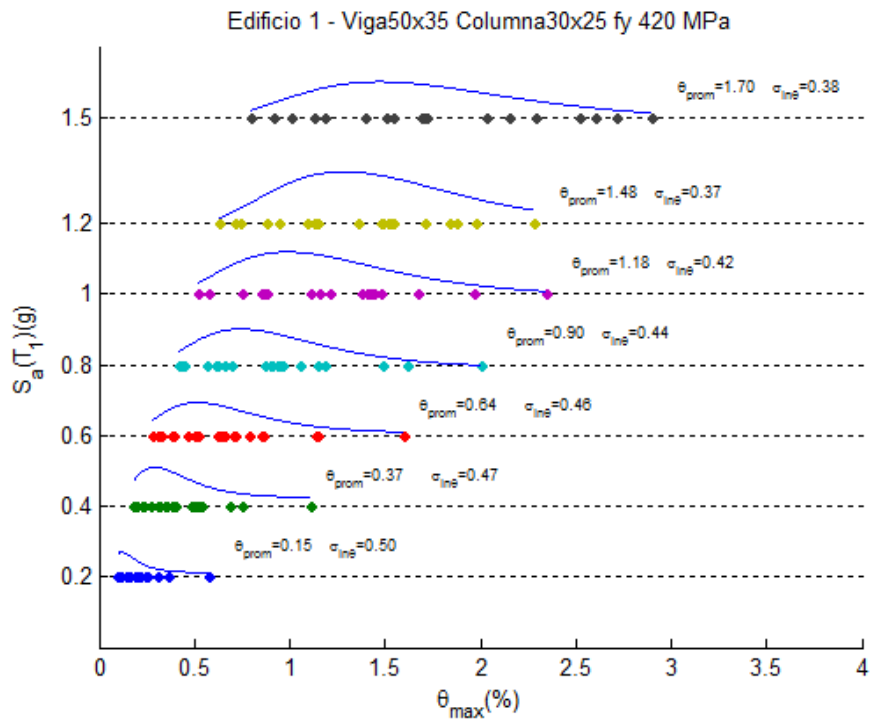
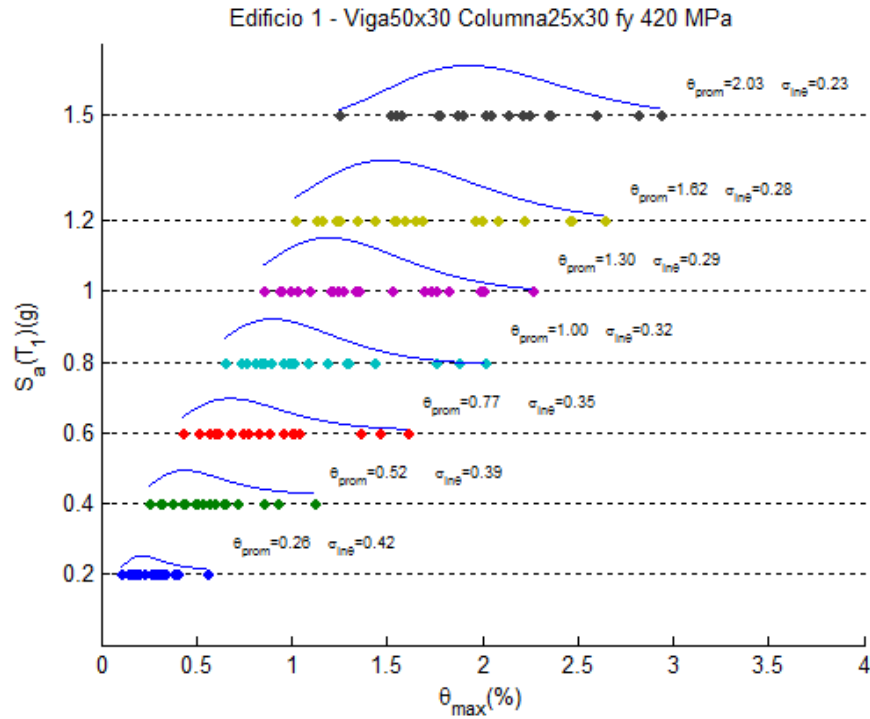


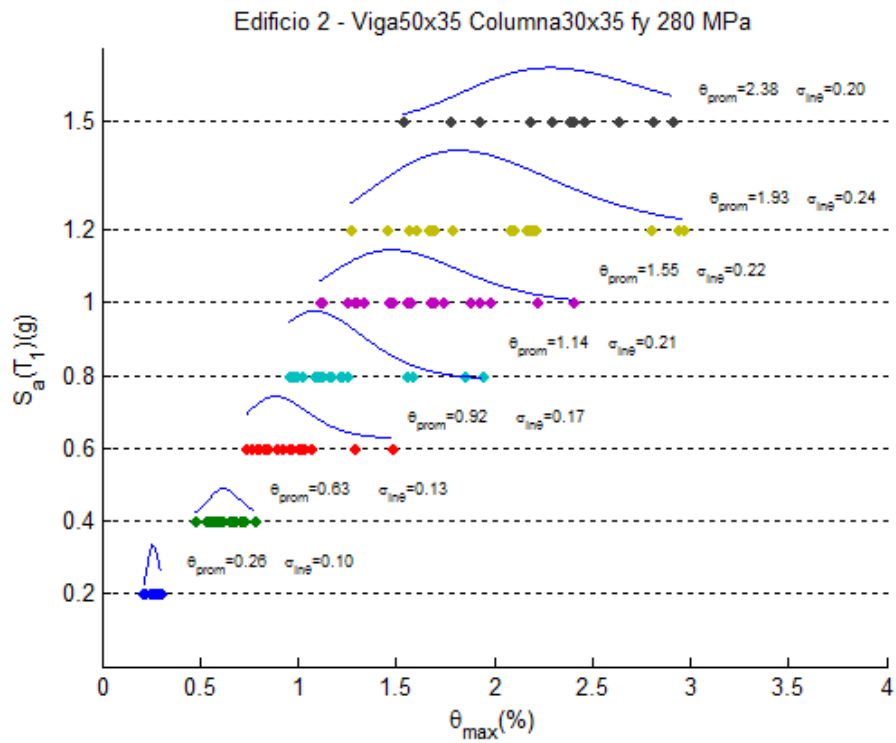
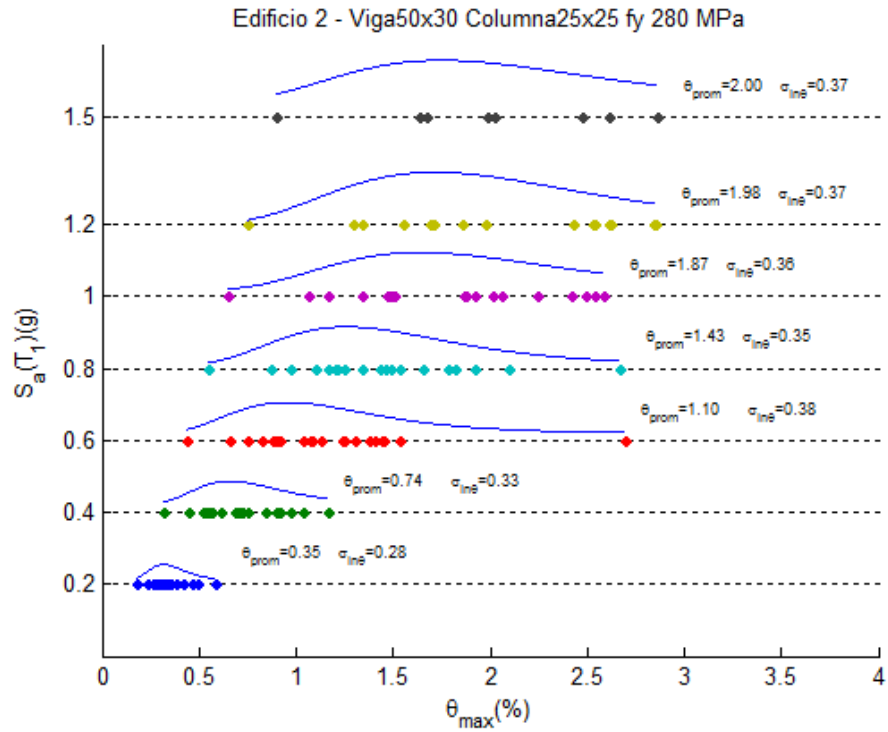
Figura 25.Árbol lógico para cada tipología y límite de fluencia del acero. EDIFICIO 3

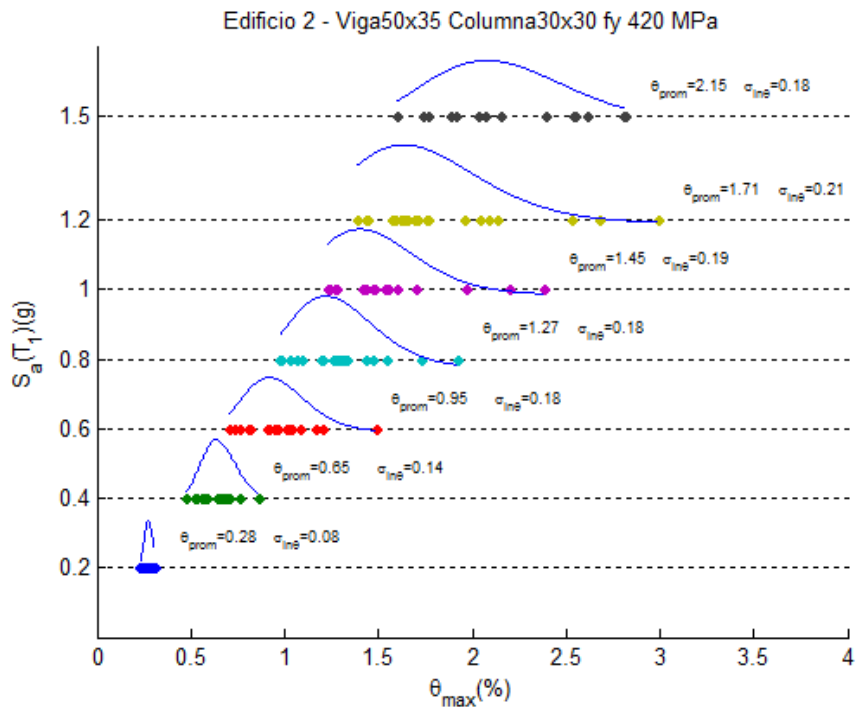
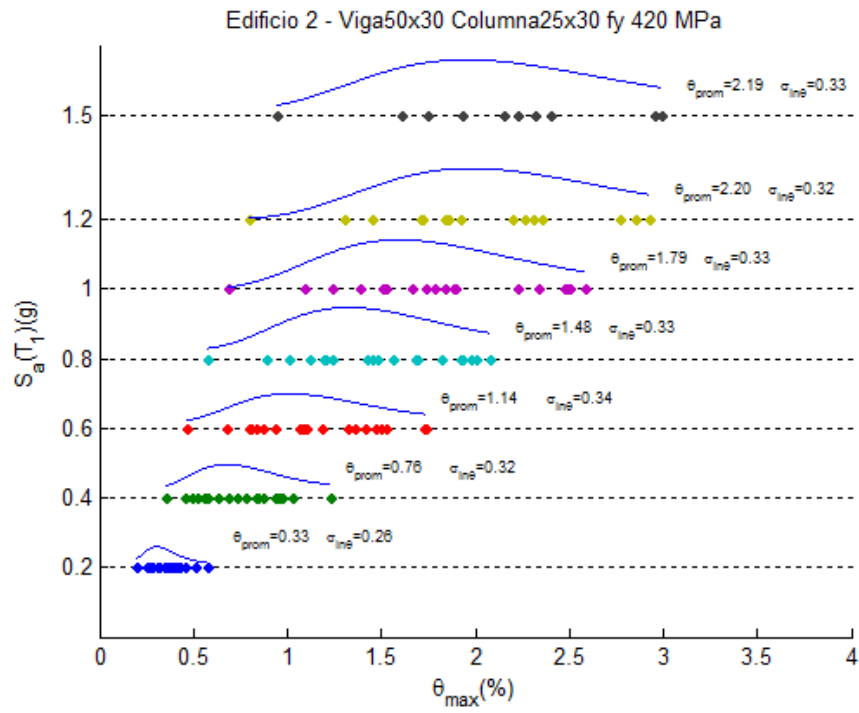
ANEXO 3

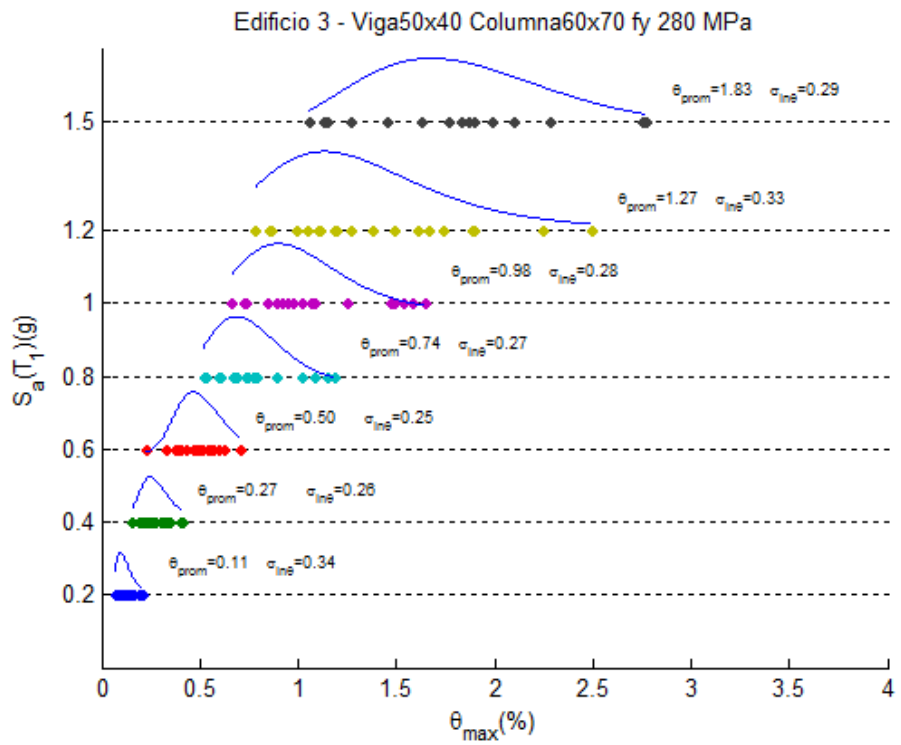
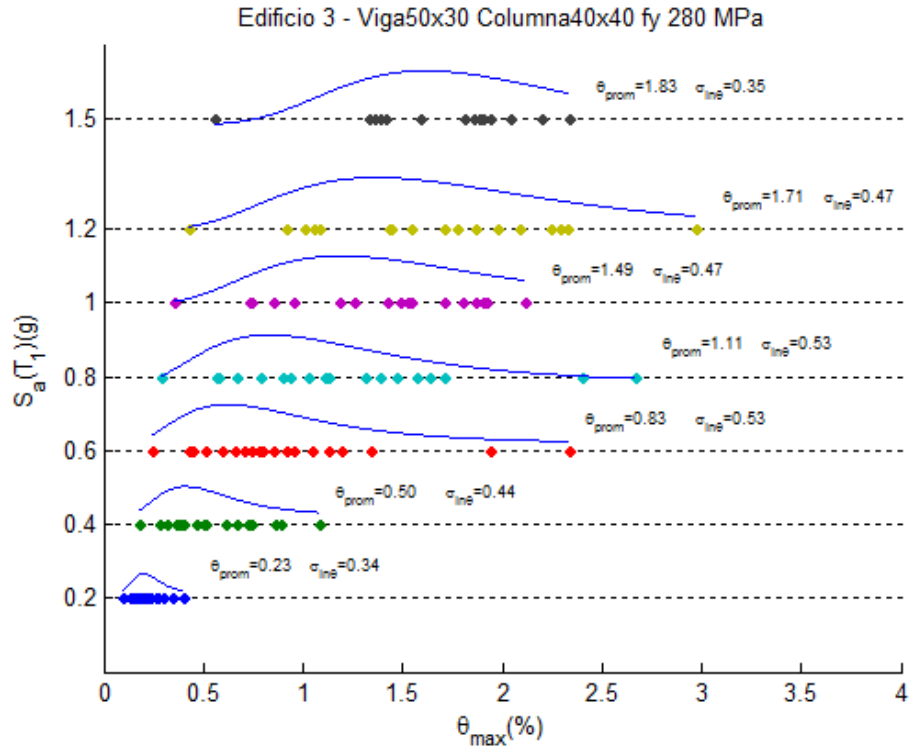
MÁXIMAS DERIVAS DE LOS EDIFICIOS TIPO

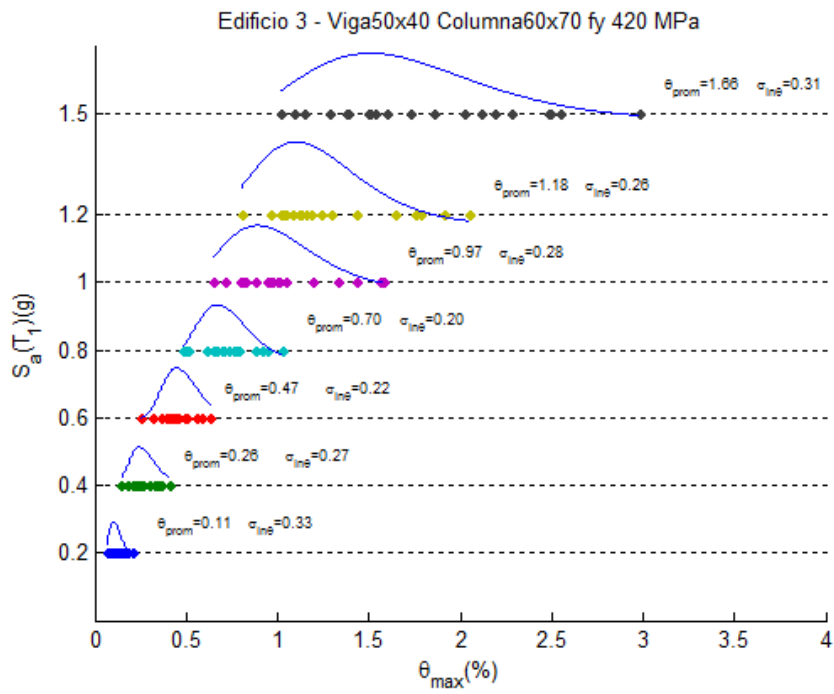
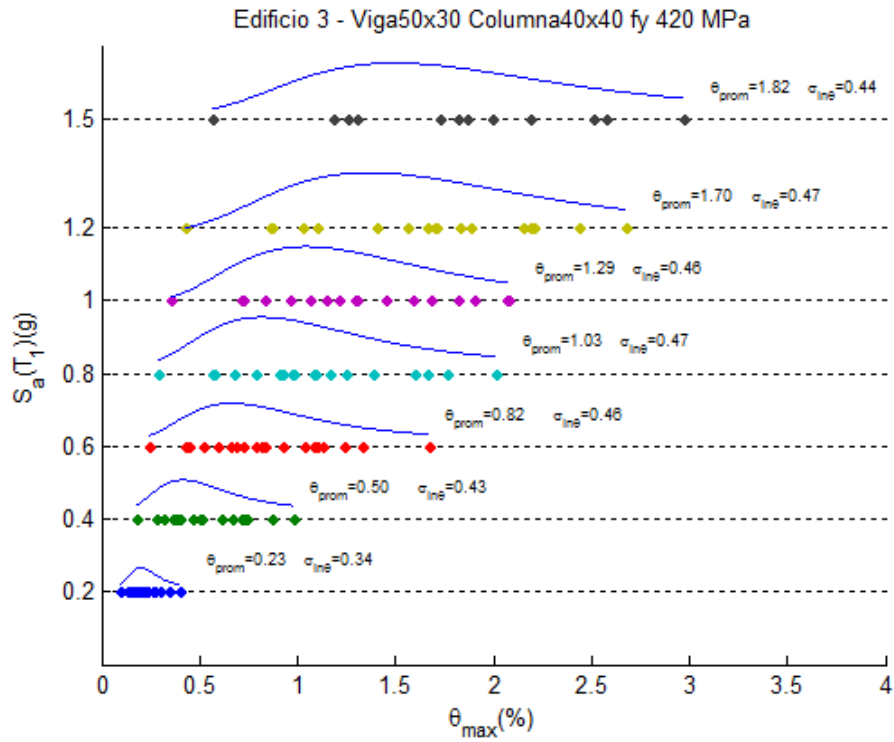






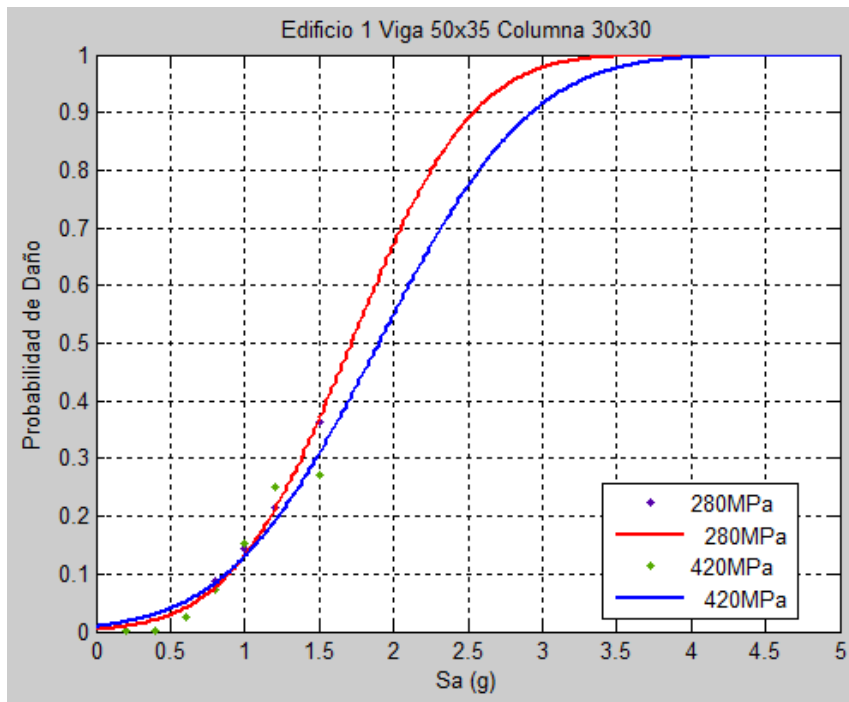
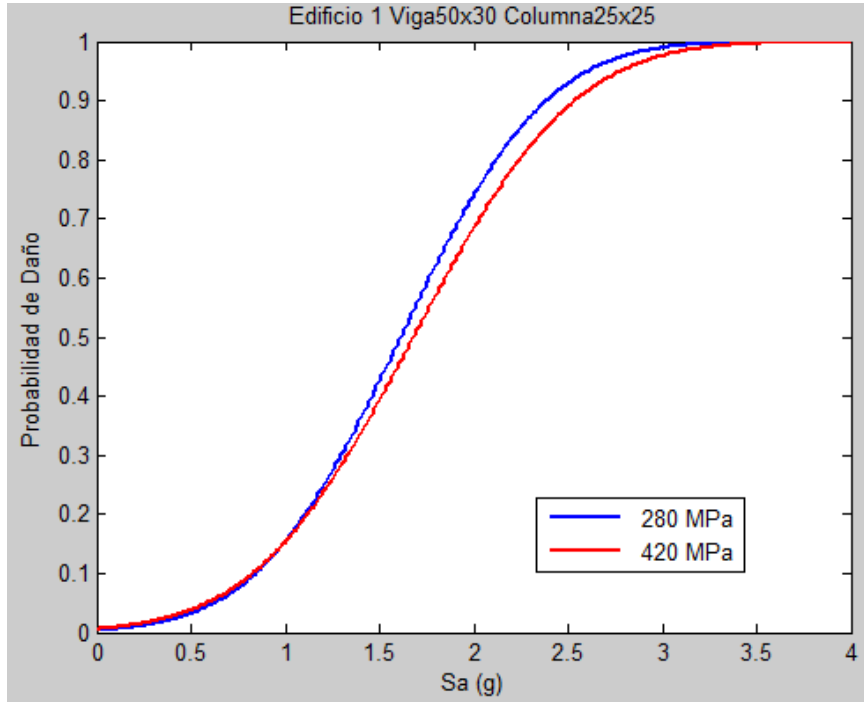


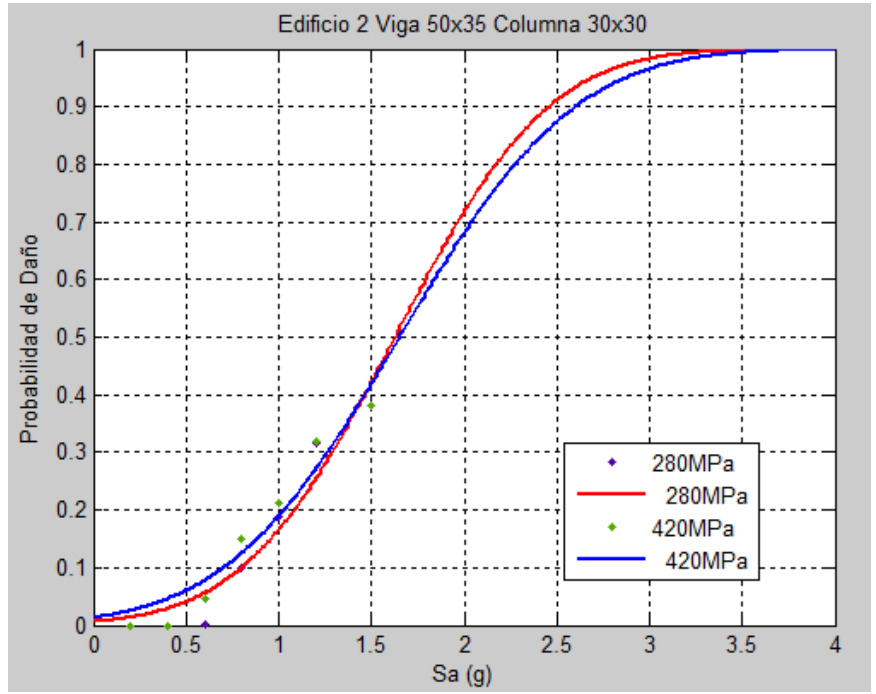
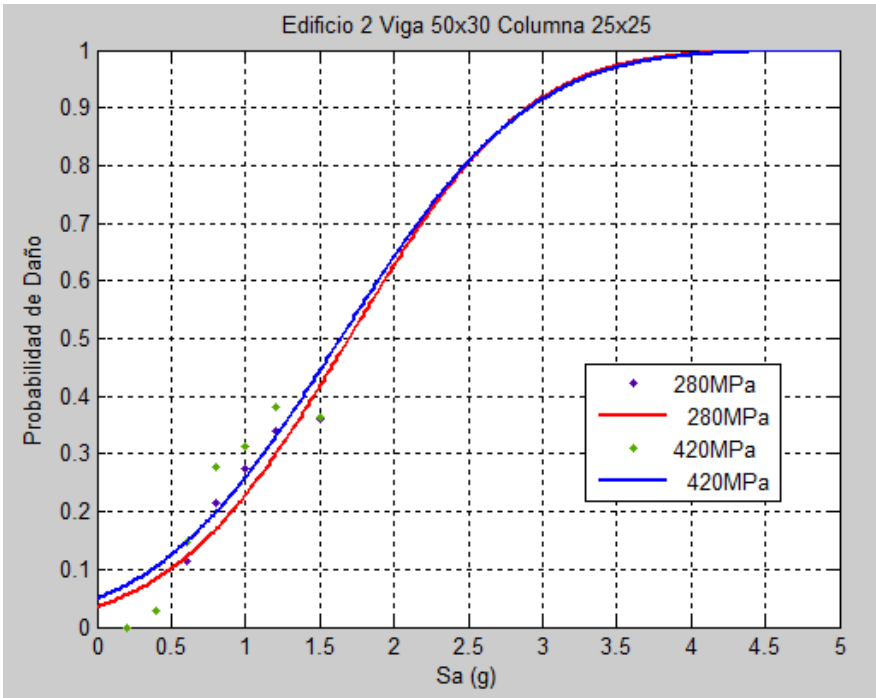


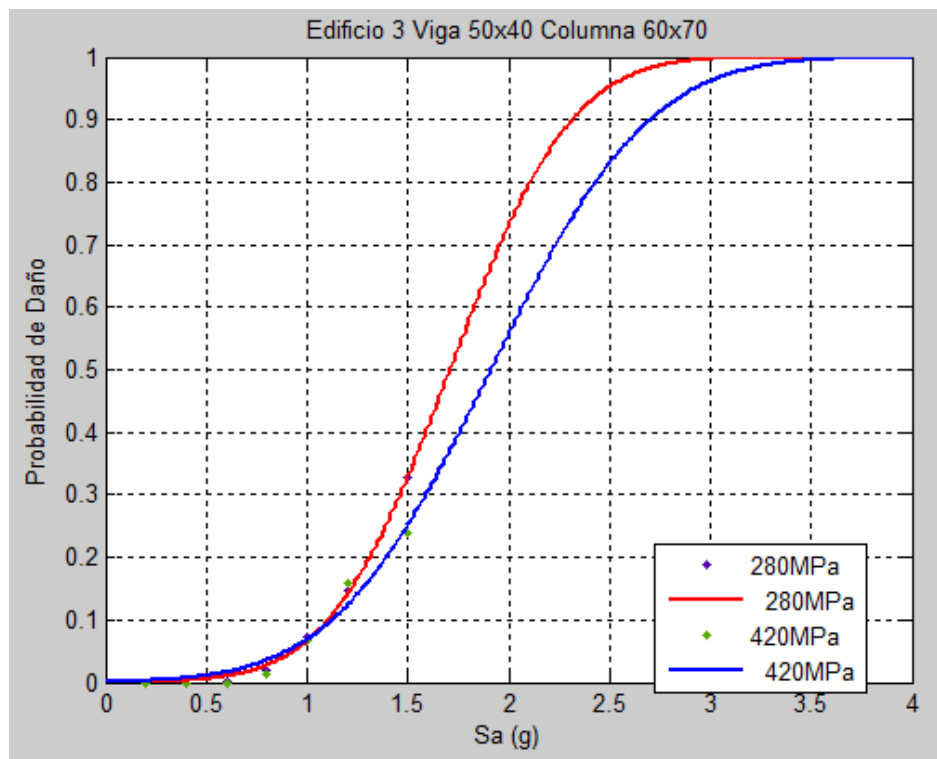
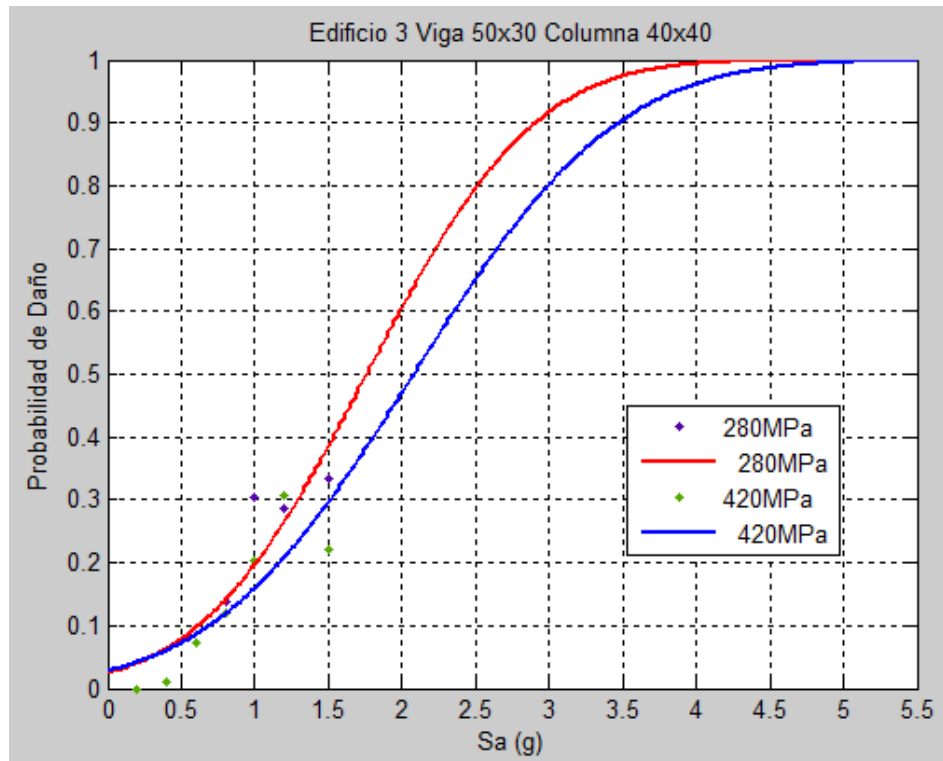


ANEXO 4

CURVAS DE VULNERABILIDAD DE LOS EDIFICIOS TIPO

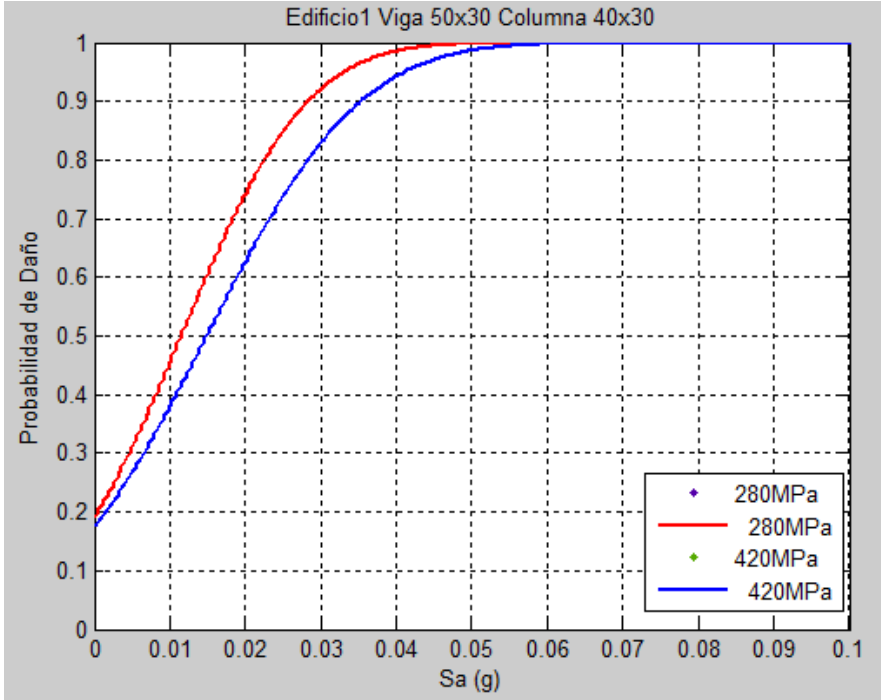




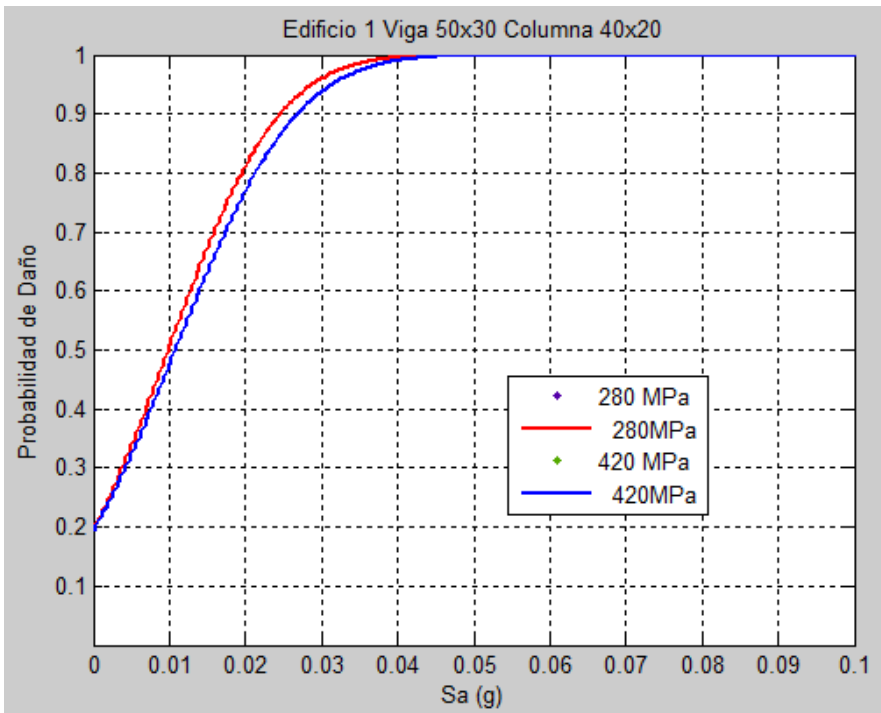


ANEXO 5

CURVAS DE FRAGILIDAD DE LAS ZONAS MÁS VULNERABLES



PGA del edificio



PGA = 0.025